

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

CHANGEMENTS CLIMATIQUES LE LONG DE LA CÔTE NORD DE
L'ESTUAIRE ET DU GOLFE DU SAINT-LAURENT DURANT L'HOLOCÈNE :
RELATION ENTRE LES CONDITIONS HYDROGRAPHIQUES ET LE
DÉVELOPPEMENT DES TOURBIÈRES OMBROTROPHES CÔTIÈRES

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN GÉOGRAPHIE

PAR

MATHIEU LEMAY-TOUGAS

DÉCEMBRE 2014

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.01-2006). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

AVANT-PROPOS

Ce mémoire de maîtrise est présenté sous la forme d'un article scientifique qui a été soumis à la revue *The Holocene*. L'article a été rédigé par moi-même et il a été corrigé par ma directrice de maîtrise Michelle Garneau et co-directrice Anne de Vernal. Par conséquent, la mise en forme ainsi que l'utilisation de la langue anglaise respectent les exigences de la revue *The Holocene* et non celles de l'Université du Québec à Montréal.

REMERCIEMENTS

Tout d'abord, j'aimerais adresser mes plus sincères remerciements à ma directrice, Michelle Garneau, et à ma codirectrice, Anne de Vernal. Leur précieux soutien a sans contredit contribué à l'atteinte de mes objectifs tout au long de ce projet de maîtrise.

Merci à Maryse Henry pour les traitements en laboratoire de micropaléontologie et Agnieszka Adamowicz-Walczak pour les analyses de géochimie isotopique, mais surtout pour leur écoute et leurs nombreux conseils.

Je dois également remercier Taoufik Radi pour son expertise dans l'identification des dinokystes et les traitements statistiques, Nouah Dhahri et Olivia Gibb pour l'identification des foraminifères, de même que Bianca Fréchette pour l'identification pollinique. Je ne peux oublier les Tourbeux, notamment Hans Asnong et Gabriel Magnan qui ont fait preuve d'une grande générosité en partageant avec moi leurs connaissances.

Une famille aussi fantastique que la mienne facilite la réalisation des plus grands projets tels qu'un mémoire de maîtrise. Le soutien inconditionnel de ma conjointe, la fierté dans le regard de ma mère, le côté rationnel de mon père, le dépassement de soi de mon frère, les rires de ma sœur, et la naissance de ma fille Rosalie m'ont grandement motivé à écrire les dernières lignes de ce mémoire.

Finalement, j'aimerais remercier le Conseil de recherches en sciences naturelles et en génie du Canada (CRSNG) d'avoir financé mon projet via les subventions de la

professeure Michelle Garneau (RDCPJ 365867-08) et celle du professeur Anne de Vernal.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEAUX.....	VIII
LISTE DES ABRÉVIATIONS.....	X
LISTE DES SYMBOLES	XII
RÉSUMÉ	I
CHAPITRE I	
INTRODUCTION ET CONTEXTE DE LA RECHERCHE	2
1.1 Présentation du projet de recherche.....	4
1.2 Les conditions océaniques de surface à partir des kystes de dinoflagellés.....	5
1.3 Assemblage pollinique et palynostratigraphie.....	6
1.4 Objectifs du projet	6
CHAPITRE II	
SITE D'ÉTUDE.....	8
2.1 Bathymétrie et topographie.....	9
2.2 Hydrographie et circulation océanique.....	10
CHAPITRE III	
MÉTHODOLOGIE.....	13
3.1 Échantillonnage et traitements en laboratoire.....	13
3.2 Chronostratigraphie	14
3.3 Analyses palynologiques	15
3.3.1 Reconstitution des conditions océaniques de surface avec la technique des analogues modernes (MAT)	156
3.4 Analyses géochimiques et isotopiques	17

3.4.1 Analyses des isotopes d'oxygène (^{18}O) ainsi que du carbone (^{13}C) sur les tests de foraminifères benthiques	17
--	----

3.4.2 Analyses du contenu en carbone ainsi qu'en azote dans le sédiment ($\%C_{\text{org}}$, C_{org}/N , $\delta^{13}\text{C}$)	18
---	----

CHAPITRE IV

CLIMATE CHANGES ALONG THE NORTH SHORE OF THE GULF AND ESTUARY OF ST. LAWRENCE DURING THE HOLOCENE: LINKAGES BETWEEN SEA-SURFACE CONDITIONS AND COASTAL PEATLAND DYNAMICS	19
--	----

4.1 Introduction.....	21
-----------------------	----

4.2 Physiography and hydrography of the study area.....	23
---	----

4.3 Material and methods	26
--------------------------------	----

4.3.1 Sampling and laboratory treatment	26
---	----

4.3.2 Chronostratigraphy of the core.....	27
---	----

4.3.3 Palynological analyses	28
------------------------------------	----

4.3.4 Geochemical analyses	30
----------------------------------	----

4.4 Results	31
-------------------	----

4.4.1 Chronology and lithology.....	31
-------------------------------------	----

4.4.2 Biogenic content of sediment.....	33
---	----

4.4.3 Pollen and spores.....	36
------------------------------	----

4.4.4 Dinocyst assemblages	39
----------------------------------	----

4.4.5 Reconstruction of sea-surface conditions.....	41
---	----

4.4.6 Benthic foraminifer assemblages	43
---	----

4.4.7 Isotopic composition of <i>Bulimina marginata</i> shells	46
--	----

4.5 Discussion.....	48
---------------------	----

4.5.1 Postglacial vegetation history.....	49
---	----

4.5.2 Postglacial paleoceanography of the GSL	50
---	----

4.5.3 Holocene ombrotrophic peatland dynamics	53
---	----

4.6 Conclusion	53
----------------------	----

4.7 References.....	55
---------------------	----

CONCLUSION GÉNÉRALE.....	60
--------------------------	----

ANNEXE A

DÉNOMBREMENT DES PALYNOMORPHES MARINS ET TERRESTRES
AINSI QUE LES FORAMINIFÈRES DANS LA CAROTTE COR0602-42PC 62

ANNEXE B

RÉSULTATS DES ANALYSES GÉOCHIMIQUES ET ISOTOPIQUES DANS LA
CAROTTE COR0602-42PC..... 98

ANNEXE C

RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES : CONCENTRATIONS ET
RÉSULTATS DE LA RECONSTRUCTION PALÉOCLIMATIQUE..... 107

RÉFÉRENCES..... 116

LISTE DES FIGURES

Figure	Page
Figure 2.1 Division du Saint-Laurent ainsi que la localisation de la carotte par piston COR0602-42PC (49°7.18'N – 67°16.80'O). Les lignes de contours correspondent à l'isobathe de 200 m. Les autres carottes sédimentaires mentionnées dans ce mémoire sont les suivantes : 1- COR0503-37PC (48°20.01'N, 61°29.99'O, à 408 m de profondeur (Dhahri, 2010 ; Genovesi <i>et al.</i> , 2011)), 2- CR06-TCE (50°28.36'N, 58°06.628'W, à 280 m de profondeur (Thibodeau <i>et al.</i> , 2013)), 3- 89-007-16 (49°42.80'N, 61°56.90'W, à 258 m de profondeur (de Vernal <i>et al.</i> , 1993)), 4- Quatre carottes de tourbe prélevées sur l'île d'Anticosti (Observation, Port-Menier, Box et Baie des Trois-Ruisseaux (Lavoie et Fillion, 2001)), 5- Deux carottes de tourbe prélevées dans la région de Baie-Comeau (Tourbières Baie et Lebel (Magnan et Garneau, 2014)), 6- Lac "LD", carotte lacustre de la région de Sept-Îles (50°08.25'N, 67°07.55'O (Mott, 1976)), 7- Deux carottes de tourbe prélevées dans la région d'Havre-Saint-Pierre (Plaine et Morts (Magnan et Garneau, 2014)), 8- Petit lac Bouchard, carotte lacustre (48°51.14'N, 64°35.52'O (Asnong et Richard, 2003)); J'arrive et lac à Euloge, carotte lacustre (49°14'45''N, 65°22'20''O (Marcoux et Richard, 1995)).	9
Figure 2.2 Illustration schématique des masses d'eau du Saint-Laurent (de Vernal <i>et al.</i> , 2011).	11
Figure 4.1 Map of the St. Lawrence marine system and location of piston core COR0602-42PC (49°7.18' N – 67°16.80' W). The contour line corresponds to the 200 m isobath. Studied cores mentioned in this article are as follows : 1- COR0503-37PC (48°20.01' N, 61°29.99' W; water depth = 408 m. ; cf. Dhahri, 2010; Genovesi <i>et al.</i> , 2011), 2- CR06-TCE (50°28.36' N, 58°06.628' W; water depth = 280 m; cf. Thibodeau <i>et al.</i> , 2013), 3- 89-007-16 (49°42.80' N, 61°56.90' W; water depth = 258 m; cf. de Vernal <i>et al.</i> , 1993), 4- Four peat cores on Anticosti Island (Observation, Port-Menier, Box and Baie des Trois Ruisseaux. cf. Lavoie and Fillion, 2001), 5- Two peat cores in Baie-Comeau peatlands (Baie and Lebel; cf. Magnan and Garneau, 2014), 6- Lac "LD", lake core in Sept-îles area (50°08.25' N, 67°07.55' W; cf. Mott, 1976), 7- Two peat cores in Havre-Saint-Pierre area (Plaine and Morts; cf.	

- Magnan and Garneau, 2014), 8- Petit lac Bouchard, lake core (48°51.14' N, 64°35.52' W; cf. Asnong and Richard, 2003); J'arrive and lac à Euloge lake core (49°14.45'N, 65°22.20'W; cf. Marcoux and Richard, 1994). 23
- Figure 4.2 Schematic illustration of the water masses in the St. Lawrence (de Vernal *et al.*, 2011). 26
- Figure 4.3 Age vs depth relationship in COR0602-42PC. The dashed line represents a linear fit of age in calendar years vs. depth in cm. The horizontal bars correspond to the standard deviation (2 sigma) of calibrated ages as in Table 1. 32
- Figure 4.4 Concentration of palynomorphs, dinocysts to pollen ratio, concentration of foraminifers (organic linings and shells), foraminifer lining to shell ratio, organic carbon content (% of dry weight), $\delta^{13}\text{C}$ of organic carbon and organic carbon to total nitrogen ratio as fonction of age in cal. years BP. The bold curves correspond to 5-points running means. 33
- Figure 4.5 Pollen and spore assemblages and relative abundance of the most abundant species as a function of age in core COR0602-42 PC. 36
- Figure 4.6 Dinocyst assemblage zones, relative abundance of the most abundant species and heterotrophic to phototrophic ratio as a function of age in core COR0602-42 PC. *Spiniferites* spp. includes *Spiniferites delicatus* (0-7%), *Spiniferites mirabilis* (0-0,7%) and other unidentified *Spiniferites* taxa (0-0,3%). *Brigantedinium* spp. includes *Brigantedinium simplex* (0-3%) and *Brigantedinium cariacense* (0-1%). 39
- Figure 4.7 Sea-surface condition estimates based on MAT applied to dinocysts assemblages as function of age for in core COR0602-42PC. The bold curves correspond to 5-points running means and the gray zone represent the maximum and minimum values according to the set of 5 analogues. Modern sea-surface temperature and sea-surface salinity from the World Ocean Atlas (2001) are indicated by the vertical gray line. 41
- Figure 4.8 Foraminifer assemblages and the relative abundance of the most abundant species as a function of age in core COR0602-42 PC. LC and NAC stands for Labrador Current and North Atlantic Current respectively. 43
- Figure 4.9 Isotopic composition of *Bulimina marginata* shells and estimation of bottom water temperature as function of age assuming no changes in salinity. The bold curve represent 5-point running means 46

LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
Tableau 3.1 Datation au radiocarbone et âges calibrés	15
Tableau 4.1 Radiocarbon and calibrated ages	28
Tableau 4.2 Summary of holocene vegetation history from pollen data, marine conditions and peatlands dynamics of the North shore of St. Lawrence, Gaspé Peninsula and Gulf of St. Lawrence.	48
A.1. : Dénombrement des dinokystes phototrophes dans la carotte COR0602-42PC	63
A.2. : Dénombrement des dinokystes hétérotrophes contenus dans la carotte COR0602-42PC	68
A.3. : Dénombrement des grains de pollen d'arbres contenus dans la carotte COR0602-42PC	72
A.4. : Dénombrement des grains de pollen d'arbustes, d'herbes et de spores contenus dans la carotte COR0602-42PC	76
A.5. : Dénombrement des autres palynomorphes contenus dans la carotte COR0602-42PC.....	80
A.6. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la carotte COR0602-42PC	84
A.7. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la carotte COR0602-42PC	89
A.8. : Dénombrement des foraminifères planctoniques contenus dans la carotte COR0602-42PC	94
B.1. : Résultat d'analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) dans les tests carbonatés du foraminifère benthique <i>Bulimina marginata</i> dans la carotte COR0602-42PC	99

B.2. : Résultat d'analyses géochimiques du contenu en carbone et en azote du sédiment (%C _{org} , C _{org} /N, $\delta^{13}\text{C}$) dans la carotte COR0602-42PC	103
C.1. : Concentrations du pollen et des spores, des dinokystes, des réseaux organiques, des foraminifères benthiques ainsi que le rapport hétérotrophes/autotrophes dans la carotte COR0602-42PC	108
C.2. : Valeur de reconstruction de la température en été, la salinité en été, la durée du couvert de glace ainsi que la productivité dans la carotte COR0602-42PC	112

LISTE DES ABRÉVIATIONS

AMS	<i>Accelerator mass spectrometry</i> Accélérateur par spectrométrie de masse
AN	Atlantique Nord
BP	<i>Before present</i> Avant l'actuel
C	Carbone
ca	<i>Circa</i> Environ
cal	<i>Calibrated years</i> Années calibrées
CIL	<i>Cold intermediate layer</i> Couche intermédiaire froide
CO ₂	Dioxyde de carbone
C _{org}	Carbone organique
C _{tot}	Carbone total
ESL	Estuaire du Saint-Laurant
GSL	Golfe du Saint-Laurent
H ₃ PO ₄	Acide phosphorique
HCl	Acide chlorhydrique
HF	Acide fluorhydrique

ISMER	Institut des sciences de la mer de Rimouski
LCW	<i>Labrador current water</i> Courant du Labrador
MAT	<i>Modern analog technique</i> Technique des analogues modernes
MPO	Ministère des Pêches et Océans Canada
N	Azote
NACW	<i>North Atlantic current water</i> Courant de l'Atlantique Nord
N _{tot}	Azote total
O	Oxygène
OM	<i>Organic matter</i> Matière organique
PC	Piston core Carotte à piston
spp	<i>Species pluralis</i> Plusieurs espèces
SST	<i>Sea surface temperature</i> Température de surface océanique

LISTES DES SYMBOLES

%	Pourcent
±	Plus ou moins
°	Degré
°C	Degré celcius
μm	Micron
‰	Pourmille
δ	Delta
cm	Centimètre
g	Gramme
km	Kilomètre
kyr	<i>Thousand years</i> Mille ans
m	Mètre
mg	Milligamme
mm	Millimètre
s	Seconde
t	Tonne
yr	<i>Year</i>

yr

Year
Année

RÉSUMÉ

Le contenu palynologique d'une carotte sédimentaire marine recueillie au large de Pointe-des-Monts a été analysé dans le but de vérifier la relation possible entre les conditions hydrographiques de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent et la dynamique des tourbières ombrotrophes (bog) de la côte nord du Saint-Laurent durant l'Holocène. Les grains de pollen et les spores ont été utilisés pour reconstruire la palynostratigraphie terrestre tandis que les kystes de dinoflagellés et de foraminifères benthiques ont permis de reconstituer les conditions océaniques de surface et les propriétés physico-chimiques des eaux profondes.. Les assemblages polliniques sont conformes avec l'histoire de la végétation régionale qui se résume par une phase d'afforestation suivie d'une fermeture du couvert forestier boréal. Les conditions océaniques de surface et les propriétés physico-chimiques des eaux profondes indiquent des variations depuis des conditions estuariennes vers des conditions océaniques induisant d'importants changements sur la température et la salinité de surface et la productivité primaire. Une hausse marquée de la salinité de surface suggérant une diminution de l'apport en eau douce durant l'Holocène récent coïncide avec des conditions hydrologiques de surface plus sèches enregistrées par Magnan et Garneau (2014) dans les tourbières ombrotrophes de la Côte nord du Saint-Laurent.

Mots clés

Golfe du Saint-Laurent, conditions océaniques de surface, tourbières ombrotrophes, Chenal laurentien, pollen, dinokystes.

CHAPITRE I

INTRODUCTION ET CONTEXTE DE LA RECHERCHE

Les études polliniques dans les régions de Sept-Îles et d'Anticosti (e.g., Lavoie et Filion, 2001 ; Mott, 1976) ainsi que les études paléocéanographiques de l'estuaire du Saint-Laurent (ESL) et du golfe du Saint-Laurent (GSL) (e.g., de Vernal *et al.*, 1993 ; Genovesi *et al.*, 2011 ; Thibodeau *et al.*, 2013) ont démontré l'existence d'importantes fluctuations climatiques, d'une évolution de la végétation côtière ainsi que des variations des conditions océaniques de surface au cours de l'Holocène.

Les changements climatiques dans les régions côtières sont déterminés à partir de la relation océan-continent. D'une part, le bilan thermique est modulé par le rayonnement solaire ainsi que les échanges de chaleur à l'interface océan-atmosphère. L'albédo du couvert de glace hivernal régularise le bilan énergétique et influence ainsi les échanges énergétiques ainsi que l'évaporation à la surface océanique (Faucher *et al.*, 2004 ; Wu *et al.*, 1997). D'autre part, les précipitations dans le bassin versant sont responsables du bilan d'eau douce, de la salinité ainsi que de la stratification des eaux (Bourgault et Koutitonsky, 1999), où l'évaporation de surface devient une source d'humidité. En outre, la circulation atmosphérique jumelée à la force de Coriolis contrôle les courants océaniques de surface ainsi que la redistribution d'énergie à l'aide de la chaleur latente à l'interface océan-atmosphère (O'Neill *et al.*, 2012 ; Smith, 1980).

Les conditions hydrographiques de l'ESL ainsi que du GSL sont caractérisées par des contrastes de température saisonnière particulièrement marqués rendant uniques les conditions climatiques de cet environnement épicontinental. L'ESL ainsi que le GSL constituent des environnements marins de transition entre la portion fluviale du Saint-Laurent et l'océan Atlantique Nord (AN). L'ESL et le GSL se composent de trois couches d'eau distinctes. La composition des couches d'eau intermédiaire ainsi que profonde est le résultat d'un mélange aux proportions variables des eaux provenant d'une part de l'océan AN et d'autre part du Courant du Labrador, tandis que les eaux de surface sont définies par une faible salinité issue de l'apport en eau douce provenant du fleuve Saint-Laurent et de ses tributaires. Ainsi, l'ESL et le GSL sont marqués par une forte stratification de leurs eaux provoquant une faible inertie thermique ainsi qu'un cycle saisonnier très prononcé au niveau de la couche de surface, avec des températures allant des conditions de gel en hiver et se réchauffant jusqu'à 18°C en été (Saucier et Chassé, 2000).

Les processus d'accumulation des milieux tourbeux le long de la côte nord de l'ESL et du GSL ont été attribués, en partie, aux changements hydrographiques de l'ESL et du GSL (Magnan et Garneau, 2014). De même, Hughes *et al.*, (2006) ont suggéré que les variations holocènes de l'humidité de surface d'une tourbière ombrotrophe de l'est de Terre-Neuve ont été influencées par les conditions océaniques et le rayonnement solaire. Par contre, la relation océan-continent et son impact sur le développement des milieux tourbeux doivent être précisés et quantifiés. Les variations climatiques holocènes auraient mené à d'importantes transformations des écosystèmes dans la partie nord du Québec (e.g., Arseneault et Payette, 1997 ; Fillion *et al.*, 1991 ; Payette et Fillion, 1985). Toutefois, on retrouve très peu d'information sur la variabilité climatique durant l'Holocène sur la Côte-Nord ainsi que ses impacts sur l'hydrologie des écosystèmes terrestres.

1.1 Présentation du projet de recherche

Ce mémoire vise à documenter la relation entre les conditions hydrographiques dans l'ESL et le GSL et le développement des milieux tourbeux le long de la Côte-Nord du Saint-Laurent durant l'Holocène.

Afin de reconstituer simultanément les conditions climatiques, l'évolution de la végétation ainsi que les changements océaniques, nous avons analysé une carotte marine recueillie au large de Pointe-des-Monts à l'embouchure de l'estuaire marin du Saint-Laurent (Figure 2.1). Une attention spéciale a été portée aux kystes de dinoflagellés qui sont des organismes unicellulaires planctoniques dont la distribution géographique est étroitement liée aux conditions océaniques de surface (de Vernal et Marret, 2007).

Nous avons également reconstitué les assemblages polliniques qui sont issus de la végétation continentale et qui permettent d'établir une relation avec les conditions terrestres (de Vernal *et al.*, 1993). Les analyses palynologiques semblent particulièrement adaptées à la reconstitution simultanée des conditions climatiques ainsi qu'aux conditions océaniques de surface. Elles aideront à documenter comment les conditions climatiques passées ont eu un impact sur la dynamique des tourbières ombrotrophes côtières qui sont très répandues sur les surfaces deltaïques longeant la Côte-Nord du Saint-Laurent (Magnan et Garneau, 2014).

La composition isotopique ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) ainsi que les assemblages des tests de foraminifères benthiques ont également été considérés, car ils permettent la reconstitution des changements des propriétés physico-chimiques des eaux profondes. Celles-ci sont issues d'un amalgame d'eaux provenant de l'Atlantique Nord ainsi que du Courant du Labrador dont la proportion de chacune dépend de la circulation océanique le long des marges continentales du nord-est de l'Amérique (e.g., Bilodeau *et al.*, 1994 ; Boyle, 1987).

Finalement, afin d'identifier la concentration ainsi que la provenance de la matière organique contenue dans le sédiment, des analyses isotopiques ($\%C_{org}$, C_{org}/N , $\delta^{13}C$) ont été également effectuées (e.g., Meyers, 1997 ; Muzuka et Hillaire-Marcel, 1999).

1.2 Les conditions océaniques de surface à partir des kystes de dinoflagellés

Les kystes de dinoflagellés, ou dinokystes, ont été largement utilisés à des fins de reconstitution des conditions océaniques de surface au cours des dernières décennies (e.g., de Vernal *et al.*, 2005 ; de Vernal *et al.*, 1993 ; de Vernal *et al.*, 1997 ; Levac, 2003 ; Levac et de Vernal, 1997 ; Rochon *et al.*, 1999 ; de Vernal *et al.*, 1994). Les dinoflagellés occupent tous les milieux aquatiques, des lacs aux océans, en passant par les mers épicontinentales ainsi que les estuaires et ils sont présents de l'équateur jusqu'aux mers polaires (de Vernal et Marret, 2007 ; Potvin *et al.*, 2013). Pendant leur cycle de vie, certains taxons de dinoflagellés produisent un kyste et s'en départissent lors de la phase d'exkystement, marquant la fin du cycle de reproduction (de Vernal et Marret, 2007 ; Potvin *et al.*, 2013 ; Radi et de Vernal, 2008 ; Rochon, 2009). La très grande diversité ainsi que l'énorme variabilité morphologique dans les environnements océaniques font des dinokystes d'excellents traceurs des conditions océaniques de surface (Potvin *et al.*, 2013). À l'opposé des microfossiles carbonatés ou siliceux, les dinokystes sont très peu affectés par la dissolution. Toutefois, seulement 20% des dinoflagellés produisent un kyste composé de matière organique réfractaire ne donnant ainsi qu'une image fragmentaire de la population réelle (Radi et de Vernal, 2008). À l'aide d'une fonction de transfert (Guiot et de Vernal, 2007 ; de Vernal *et al.*, 1994), il est possible de reconstituer les valeurs de température de surface, de salinité de surface, de durée du couvert de glace ainsi que de productivité primaire en fonction des assemblages reconstitués (de Vernal *et al.*, 2005 ; de Vernal *et al.*, 1997 ; de Vernal et Marret, 2007 ; Radi *et al.*, 2012 ; Rochon, 2009).

1.3 Assemblage pollinique et palynostratigraphie

Dans le sédiment marin, la présence de grains de pollen et de spores donne un portrait sommaire de la végétation continentale. Représentant des apports de matière organique allochtone (de Vernal *et al.*, 1993), ceux-ci sont transportés suivant les différentes stratégies de dispersion. Les grains de pollen et les spores, tout comme les dinokystes, possèdent une morphologie diagnostique propre à chaque espèce. Il est donc possible de les identifier et par conséquent, les dénombrer. Cette méthode permet, dans une colonne sédimentaire, de reconstruire la palynostratigraphie et de bâtir des diagrammes de pourcentages polliniques afin de reconstituer une partie de l'histoire de la végétation continentale.

1.4 Objectifs du projet

L'objectif principal du projet consiste à reconstituer les conditions hydrographiques de l'ESL et du GSL au cours de l'Holocène. Cet objectif comporte deux volets. Le premier volet vise la reconstitution des conditions océaniques de surface à l'aide d'une fonction de transfert à partir des assemblages de dinokystes. Le deuxième volet vise la reconstitution des propriétés des eaux profondes à partir des assemblages de foraminifères benthiques, de leur composition isotopique ainsi que de la nature de la matière organique contenue dans le sédiment.

Un second objectif vise la reconstitution de l'histoire de la végétation holocène régionale à partir des assemblages polliniques contenus dans la carotte sédimentaire à l'étude. Les résultats sont ensuite comparés aux données terrestres recueillies afin de documenter les relations probables qui existent entre les conditions océaniques, atmosphériques et continentales.

Le troisième objectif vise à documenter et quantifier les interactions océan-atmosphère-continent afin de valider l'hypothèse que le développement et la dynamique des tourbières côtières ont pu être en partie influencés par une combinaison de facteurs atmosphériques et océaniques régionaux.

CHAPITRE II

SITE D'ÉTUDE

Les sédiments carottés et utilisés dans cette étude ont été prélevés au sud de Pointe-des-Monts, secteur qui est limitrophe entre l'estuaire marin du Saint-Laurent et le GSL. (Figure 2.1).

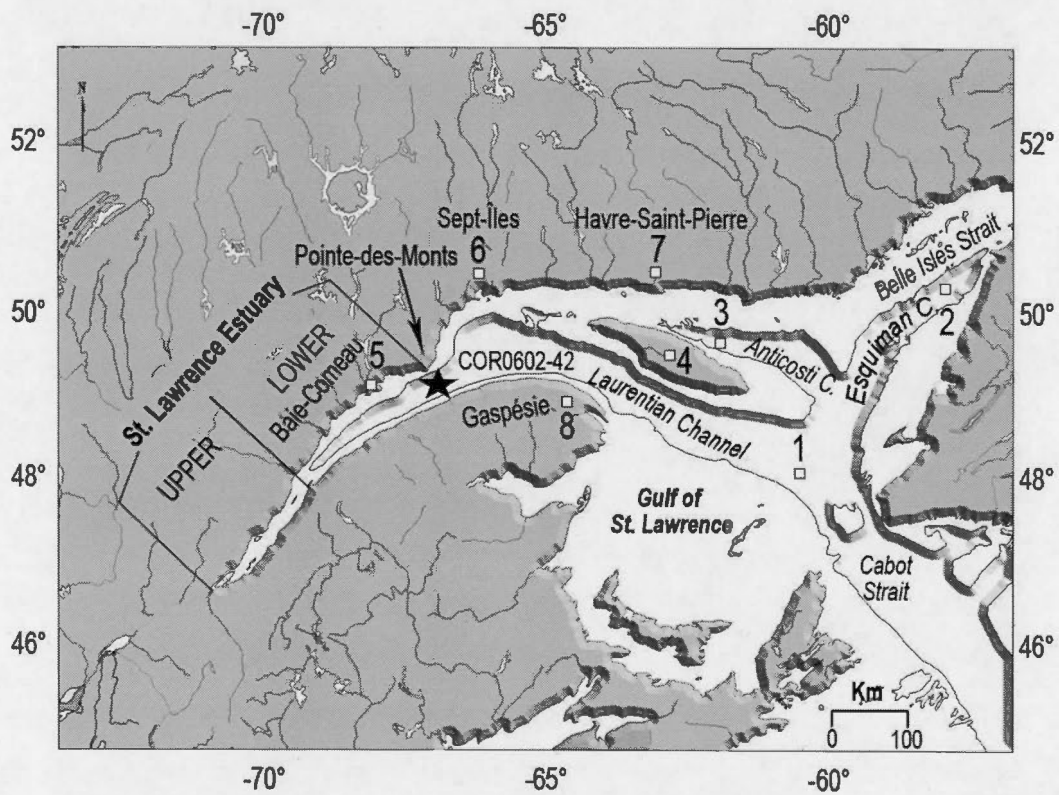


Figure 2.1 Division du Saint-Laurent ainsi que la localisation de la carotte par piston COR0602-42PC (49°7.18'N – 67°16.80'O). Les lignes de contours correspondent à l'isobathe de 200 m. Les autres carottes sédimentaires mentionnées dans ce mémoire sont les suivantes : 1- COR0503-37PC (48°20.01'N, 61°29.99'O, à 408 m de profondeur (Dhahri, 2010 ; Genovesi *et al.*, 2011)), 2- CR06-TCE (50°28.36'N, 58°06.628'W, à 280 m de profondeur (Thibodeau *et al.*, 2013)), 3- 89-007-16 (49°42.80'N, 61°56.90'W, à 258 m de profondeur (de Vernal, 1993)), 4- Quatre carottes de tourbe prélevées sur l'île d'Anticosti (Observation, Port-Menier, Box et Baie des Trois-Ruisseaux (Lavoie et Filion, 2001)), 5- Deux carottes de tourbe prélevées dans la région de Baie-Comeau (Tourbières Baie et Lebel (Magnan et Garneau, 2014)), 6- Lac "LD", carotte lacustre de la région de Sept-Îles (50°08.25'N, 67°07.55'O (Mott, 1976)), 7- Deux carottes de tourbe prélevées dans la région d'Havre-Saint-Pierre (Plaine et Morts (Magnan et Garneau, 2014), 8- Petit lac Bouchard, carotte lacustre (48°51.14'N, 64°35.52'O (Asnong et Richard, 2003)); J'arrive et lac à Euloge, carotte lacustre (49°14'45''N, 65°22'20''O (Marcoux et Richard, 1995)).

2.1 Bathymétrie et topographie

La source de l'ESL provient du large bassin versant du Saint-Laurent et des Grands Lacs, couvrant une superficie de $1,03 \times 10^6 \text{ km}^2$ (Bourgault et Koutitonsky, 1999). Le débit en eau douce de la portion fluviale du Saint-Laurent atteint $10\,900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Bourgault et Koutitonsky, 1999). En dépit de la grande étendue de son bassin versant, le fleuve Saint-Laurent est caractérisé par un faible taux de sédimentation ($4 \times 10^6 \text{ t an}^{-1}$) principalement dû à la présence des Grands Lacs en amont faisant acte de bassin de sédimentation (Milliman et Meade, 1983 ; Rondeau *et al.*, 2000). Ainsi, la source majeure en charge sédimentaire provient des tributaires du fleuve Saint-Laurent (Rondeau *et al.*, 2000). L'estuaire fluvial, l'estuaire moyen ainsi que l'estuaire maritime du Saint-Laurent sont des environnements de transition entre le fleuve Saint-Laurent et le nord-ouest de l'Atlantique Nord (Dickie et Trites, 1983 ; Koutitonsky et Bugden, 1991). La forme géologique sous-marine qui caractérise l'estuaire maritime ainsi que le GSL est le Chenal laurentien, une vallée sous-marine d'une profondeur allant de 250 m à 500 m (Gilbert *et al.*, 2005) s'étendant sur

1 240 km à partir du plateau continental au large de Terre-Neuve et de la Nouvelle-Écosse dans le nord-ouest de l'Atlantique Nord jusqu'à Tadoussac en amont dans l'ESL. La forme actuelle de cette vallée sous-marine est le résultat d'un remodelage par l'érosion glaciaire survenue lors de la dernière déglaciation post-wisconsinienne (de Vernal *et al.*, 2011). L'estuaire maritime débouche sur le GSL, une mer semi-fermée d'une superficie de 226 000 km². Cette dernière est reliée à l'océan Atlantique à partir de deux détroits. Le détroit de Cabot, au sud, a une largeur de 104 km et une profondeur maximale de 408 m. Le second, le Détroit de Belle-Isle, au nord-est, qui sépare Terre-Neuve du Labrador, est d'une largeur de 16 km et d'une profondeur de 60 m.

2.2 Hydrographie et circulation océanique

L'estuaire marin et le GSL sont formés de trois couches d'eau (Figure 2.2) (de Vernal *et al.*, 2011 ; Dickie et Trites, 1983 ; Koutitonsky et Bugden, 1991).

Une première couche de surface est caractérisée par une faible salinité (27-31,5) alimentée par un apport d'eau douce provenant du fleuve Saint-Laurent et ses tributaires. L'épaisseur de moins de 50 m de cette couche se traduit par une faible inertie thermique. Une importante amplitude thermique est enregistrée dans cette couche tout le long de l'année passant du gel à une température allant jusqu'à 18° C au mois d'août.

Sous la couche de surface, la couche intermédiaire froide (*Cold intermediate layer* (CIL)) occupe la portion de 50 à 150 m de profondeur. Elle se développe par le refroidissement hivernal ainsi que la pénétration isopycnale d'eau froide du courant du Labrador dans le GSL. Il existe un contraste prononcé de température entre la couche de surface et la CIL durant le mois d'août. En effet, à 60 m sous la surface cette dernière est caractérisée par une température d'environ 0°C, alors que la température de la couche de surface atteint 18°C (Gilbert et Pettigrew, 1997). La CIL

a une température et une salinité moyennes de 0°C et 32 respectivement (Gilbert et Pettigrew, 1997). Elle représente 26% du volume total du GSL au printemps, 12% à l'été et 4% seulement à l'automne. Vers la fin décembre jusqu'au début janvier, la couche intermédiaire se mêle avec la couche de surface à la suite du refroidissement de cette dernière. Le mélange vertical des eaux, causé par les vents, les tempêtes et les tourbillons (Gilbert et Pettigrew, 1997), contribue également à la fusion des deux couches.

La couche profonde, plus chaude ($4-6^{\circ}\text{C}$) et plus salée (34,5), s'écoule en direction de la tête de l'estuaire maritime, c'est-à-dire Tadoussac, en empruntant le Chenal laurentien. Cette couche est le résultat du mélange du courant du Labrador ainsi que des eaux du courant de l'Atlantique Nord.

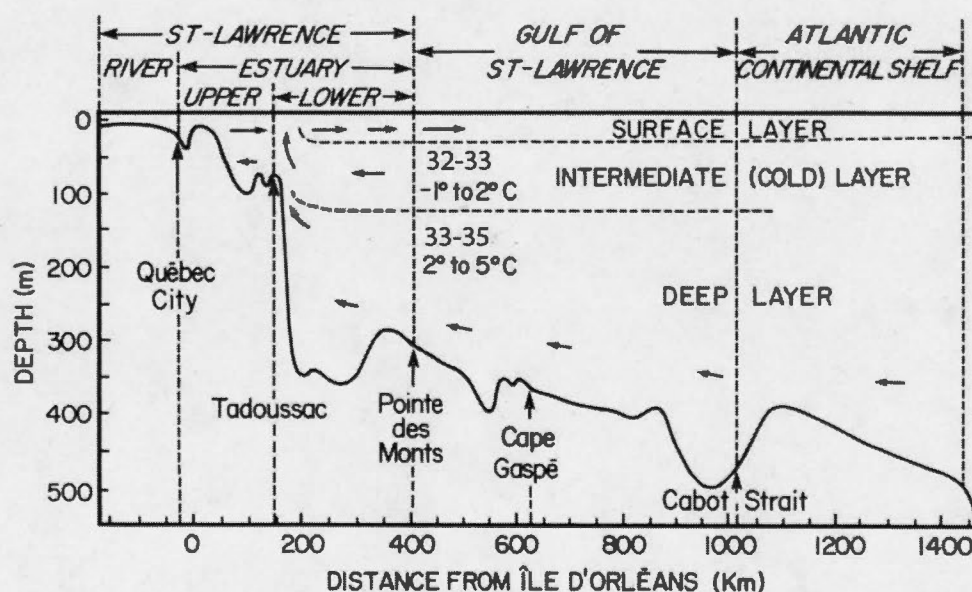


Figure 2.2 Illustration schématique des masses d'eau du Saint-Laurent (de Vernal *et al.*, 2011)

À l'emplacement du site d'étude (Figure 2.1), la température de surface en été ainsi que la salinité de surface sont de $10,42 \pm 2,73^{\circ}\text{C}$ et $27,53 \pm 1,61$ respectivement (cf. World Ocean Atlas, 2001). La durée du couvert de glace est d'environ 3 mois année⁻¹ selon les données émises le Ministère des Pêches et Océans Canada (MPO) tandis que la productivité primaire annuelle est d'approximativement 530 g C m^{-2} selon les données MODIS (<http://daac.gfc.nasa.gov>).

CHAPITRE III

MÉTHODOLOGIE

3.1 Échantillonnage et traitements en laboratoire

La carotte sédimentaire par piston COR0602-42PC (49°7.18' N – 67°16.80' O) a été prélevée en 2006 à bord du Coriolis II à une profondeur de 332 m dans le Chenal laurentien au large de Pointe-des-Monts (Figure 2.1). Cette carotte de 7,28 m a été recueillie à l'aide d'une version modifiée du carottier BentosTM d'un diamètre de 10 cm et pouvant atteindre jusqu'à 9 mètres de longueur. La carotte a été entreposée dans des tubes cylindriques en plastique d'un mètre de long et conservée en chambre froide à une température de 4°C à l'Institut des sciences de la mer de Rimouski (ISMER).

Après avoir divisé les tubes cylindriques de plastique sur le sens de la longueur, la carotte sédimentaire a été sous-échantillonnée à tous les centimètres puis analysée à 8 cm d'intervalle pour son contenu palynologique. Cinq cm³ de sédiments humides ont été préparés pour les analyses palynologiques selon la méthode décrite par de Vernal *et al.* (1996). La portion entre 10 et 106 µm a reçu des attaques à l'acide chlorhydrique (HCl 10%) ainsi qu'à l'acide fluorhydrique (HF 49%) afin de dissoudre les carbonates ainsi que la silice. Une capsule d'un nombre connu de spores de *Lycopodium* a été ajoutée avant les traitements chimiques afin de calculer les concentrations en palynomorphes (Stockmarr, 1971). Ensuite, un tamisage final a été réalisé à l'aide d'un tamis de 10 µm et une goutte du culot résiduel a été montée entre

lame et lamelle, tenue en place par une gelée de glycérine pour l'observation au microscope.

3.2 Chronostratigraphie

La chronostratigraphie de la carotte a été établie à partir d'analyses au radiocarbone sur des fragments de coquilles de bivalves (Tableau 3.1). Cinq fragments carbonatés ont été préalablement datés par Barletta *et al.* (2010). Ces dates au radiocarbone ont été mesurées à l'aide d'un accélérateur par spectrométrie de masse (AMS : Accelerator Mass Spectrometry). En plus des cinq dates, un fragment supplémentaire de coquille prélevé à 698 cm a été daté au laboratoire Keck-CCAMS (Irvine, États-Unis). Un total de six dates au radiocarbone a ainsi été utilisé afin de développer un modèle de la relation âge-profondeur dans la carotte COR0602-42PC (Figure 4.1). La rareté des carbonates biogéniques dans les échantillons n'a pas permis d'obtenir d'autres datations au radiocarbone afin d'augmenter la précision de la chronostratigraphie.

Tableau 3.1 Datation au radiocarbone et âges calibrés

Profondeur de l'échantillon (cm)	Âges radiocarbone années BP	Âges calibrés années BP (2 sigma)	Matériel daté	Numéro de Lab.	Provenance
20-21	1070 \pm 50	628 (538-717)	Fragment de pélécy-pode	TO-13207	Barletta <i>et al.</i> , 2010
60-61	1160 \pm 50	724 (625-823)	Valve de pélécy-pode	TO-13208	Barletta <i>et al.</i> , 2010
86-87	1570 \pm 50	1126 (1002-1249)	Fragment de pélécy-pode	TO-13209	Barletta <i>et al.</i> , 2010
117-118	2100 \pm 50	1678 (1544-1811)	Fragment de pélécy-pode	TO-13210	Barletta <i>et al.</i> , 2010
457-458	5360 \pm 100	5736 (5527-5945)	Fragment de pélécy-pode	TO-13211	Barletta <i>et al.</i> , 2010
698-699	7290 \pm 270	7810 (7311-8309)	Valve de pélécy-pode	UCIAMS-123627	Présente étude

3.3 Analyses palynologiques

Au total, 91 échantillons ont été analysés. L'identification et le décompte des palynomorphes ont été effectués à l'aide d'un microscope optique muni d'un grossissement de 400x. Tous les palynomorphes ont été dénombrés systématiquement. Ils comprennent essentiellement les grains de pollen, les spores, les kystes de dinoflagellés ainsi que les réseaux organiques de foraminifères. Nous avons également comptabilisé les microfossiles appartenant aux genres *Halodinium* ainsi que Ciliés (de Vernal *et al.*, 1989)) (Annexe A). Dans chaque échantillon, au moins 300 grains de pollen et spores ont été identifiés et dénombrés suivant les nomenclatures de Richard (1970), McAndrews *et al.* (1973) et Moore *et al.* (1991). Également dans chaque échantillon, environ 300 kystes de dinoflagellés ont été identifiés et comptés suivant la nomenclature de Rochon *et al.* (1999). Les résultats

sont présentés dans les diagrammes respectifs de pourcentages. Finalement, la fraction supérieure à 106 μm a été systématiquement examinée pour son contenu en tests de foraminifères benthiques et planctoniques. L'identification de ces derniers a été faite à l'aide de la taxonomie établie par Rodrigues *et al.* (1993).

3.3.1 Reconstitution des conditions océaniques de surface avec la technique des analogues modernes (MAT)

Afin de reconstruire les conditions océaniques de surface, nous avons utilisé la technique des analogues modernes (MAT) telle que décrite par Guiot et de Vernal (2007). La MAT est basée sur les similarités entre les assemblages fossiles et modernes en assumant que les populations fossiles de dinoflagellés évoluent dans des environnements comparables à ceux des populations modernes (Guiot et de Vernal, 2007). La base de données de référence permettant de reconstituer les conditions environnementales des assemblages fossiles se compose de 1 492 sites représentant une grande diversité d'environnements présents dans l'Hémisphère Nord (cf., de Vernal *et al.*, 2013). Au total, 66 taxons différents sont inclus dans la base de données de référence et couvrent une grande diversité de conditions environnementales regroupant la température et la salinité de surface, la durée du couvert de glace exprimée en mois année⁻¹ ainsi que la productivité primaire (de Vernal *et al.*, 2005 ; Guiot et de Vernal, 2007). Ces données peuvent être consultées sur le site Internet du GEOTOP (<http://www.geotop.ca>). Nous avons utilisé le logiciel R (<http://www.r-project.org/>) adapté pour la MAT en suivant la procédure de Guiot *et al.* (2013). Le pourcentage des dinokystes a été tout d'abord transformé à l'aide d'un log afin d'augmenter le poids des taxons moins abondants, et ainsi réduire le poids statistique des taxons ubiquistes. Ensuite, les cinq meilleurs analogues ont été sélectionnés à l'intérieur de la base de données de référence permettant ainsi de calculer les conditions de surface à partir de la moyenne de chacun des paramètres, en fonction

d'une pondération inversement proportionnelle à leur distance physique. Un exercice de validation de la méthode indique une erreur de prédiction de $\pm 1,4$ mois/année pour la durée du couvert de glace, de $\pm 1,6$ °C pour les températures de surface d'été et d'hiver, de $\pm 2,6$ pour la salinité de surface et de $55 \text{ g C m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ pour la productivité primaire (voir aussi de Vernal *et al.*, 2013 pour plus de précision sur l'approche statistique). Les données de référence relatives aux températures de surface ainsi que de salinité ont été compilées à partir du World Ocean Atlas (2001). La durée du couvert de glace exprimée en mois année⁻¹ avec plus de 50% de concentration de glace de mer a, quant à elle, été recueillie à partir des données compilées par le Ministère des Pêches et Océans Canada (MPO) ainsi que les données régionales du GSL. Les mesures de productivité proviennent de la base de données MODIS (<http://daac.gfc.nasa.gov>) et sont exprimées en $\text{g C m}^{-2} \text{ an}^{-1}$ (cf. Radi et de Vernal, 2008).

3.4 Analyses géochimiques et isotopiques

3.4.1 Analyses des isotopes d'oxygène (¹⁸O) ainsi que du carbone (¹³C) sur les tests de foraminifères benthiques

L'identification des foraminifères benthiques carbonatés a été réalisée à l'aide d'un microscope stéréoscopique munie d'une tête binoculaire avec un grossissement de 40x. Un minimum de huit tests de *Bulimina marginata* a été prélevé manuellement afin d'analyser le contenu en isotopes ¹⁸O ainsi qu'en ¹³C. Cette espèce, décrite par Jorissen *et al.* (1998) comme étant une espèce qui se situe dans les microhabitats endopéliques intermédiaires et endopéliques profonds, était la plus abondante dans la carotte sédimentaire étudiée. Les tests prélevés ont ensuite été brûlés sous vide à une température de 250°C durant une heure. Les analyses ont été effectuées sur un spectromètre de masse *Micromass Isoprime*TM à double injection couplé à un système

MulticarbTM. Le CO₂ a été extrait à 90°C par acidification avec de l'acide phosphorique concentré à 100% (H₃PO₄). Les mesures ont été faites avec un carbonate étalon interne calibré par rapport à l'échelle V-PDB ($\delta^{13}\text{C} = +2,25\text{‰}$; $\delta^{18}\text{O} = -1,40\text{‰}$). La reproductibilité analytique était d'environ 0,05‰ (un sigma) pour les isotopes de carbone et d'oxygène.

3.4.2 Analyses du contenu en carbone ainsi qu'en azote dans le sédiment (%C_{org}, C_{org}/N, $\delta^{13}\text{C}$)

Entre 7 et 10 mg de sédiments séchés puis broyés ont été prélevés dans chacun des 91 échantillons puis analysés pour leur contenu en carbone ainsi qu'en azote en suivant la méthode par fumigation établie par Hélie (2009). Cette méthode nécessite que chaque échantillon soit déposé dans une coupelle en étain pour ensuite être analysé à l'aide d'un analyseur élémentaire *Carlo Erba*TM NC 2500 afin d'en déterminer le poids en carbone total (C_{tot}) ainsi qu'en azote total (N_{tot}). Le contenu en carbone organique (C_{org}) est calculé à partir du sédiment acidifié en référence à la fumigation. Le sédiment est pesé dans une coupelle d'argent et placé délicatement, dans un plateau de Teflon stérile. Le plateau est alors placé sous un contenant en verre avec un bécher d'acide chlorhydrique (HCL) concentré à 4N pour une durée de 24 heures. Ainsi, l'HCL sature l'air compris dans le contenant de verre et réagit avec le carbonate minéral contenu dans chaque échantillon. Après la fumigation, les coupelles d'argent sont fermées et enveloppées dans des coupelles d'étain pour ensuite être analysées avec un analyseur élémentaire de type *Carlo Erba*TM NC 2500. Les résultats sont exprimés en pourcentage du poids total de l'échantillon. Des mesures ont été effectuées à partir d'un étalon organique de référence déterminant la précision analytique qui est estimée à $\pm 0,1 \%$ pour le C_{org} et de $\pm 0,3\%$ pour N_{tot}.

CHAPITRE IV

CLIMATE CHANGES ALONG THE NORTH SHORE OF THE GULF AND ESTUARY OF ST. LAWRENCE DURING THE HOLOCENE: LINKAGES BETWEEN SEA-SURFACE CONDITIONS AND COASTAL PEATLAND DYNAMICS

Mathieu Lemay-Tougas¹, Anne de Vernal², Michelle Garneau¹

Ajoutes:

¹ Département de géographie et GEOTOP-UQAM C.P. 8888, succ. Centre ville,
Montréal, Québec, Canada H3C 3P8

² Département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère et GEOTOP-UQAM C.P.
8888, succ. Centre ville, Montréal, Québec, Canada H3C 3P8

Abstract

The palynological content of a marine sediment core collected off Pointe-des-Monts in eastern Québec was analysed in order to highlight the relationship between hydrographic conditions of the Gulf and Estuary of St. Lawrence and hydrologic conditions of coastal ombrotrophic peatlands (bog) during the Holocene. The pollen and spore content allows direct correlation with the terrestrial palynostratigraphy whereas dinocysts and benthic foraminifers are used for the reconstruction of sea-surface conditions and bottom water properties, respectively. The pollen and spore

data are consistent with the regional vegetational history, which consists in afforestation followed by closed boreal forest. The micropaleontological data highlight shifts between estuarine and oceanic conditions with significant changes in sea-surface temperature, salinity and productivity. In particular, higher salinity suggest reduced freshwater discharge during the late-Holocene, which coincides with dry surface conditions in bogs from the St. Lawrence North Shore as identified by Magnan and Garneau (2014).

Keywords

Gulf of St. Lawrence, sea-surface conditions, peatlands, Laurentian channel, pollen grains, dynocysts.

4.1 Introduction

Paleoclimatic studies in the Sept-Îles and Anticosti regions (e.g., Lavoie and Filion, 2001; Mott, 1976) and paleoceanographical investigations in the Gulf and Estuary of St. Lawrence (e.g., de Vernal *et al.*, 1993; Thibodeau *et al.*, 2013; Genovesi *et al.*, 2011) have shown important fluctuations in terrestrial climate, vegetation, sea-surface conditions and bottom water properties during the Holocene. In a regional nearshore context, climate changes are determined by land-sea relationships. On one hand, the heat budget is modulated by insolation and exchanges between the surface ocean and the atmosphere. In particular, the winter sea-ice cover regulates the energy budget through its albedo and influences the exchanges of energy and water vapor at the ocean-atmosphere interface (Wu *et al.*, 1997; Faucher *et al.*, 2004). On the other hand, precipitations within the watershed determine the freshwater budget, salinity and water mass stratification (Bourgault and Koutitonsky, 1999), whereas evaporation at the sea surface is a source of moisture. Furthermore, atmospheric circulation patterns together with the Coriolis force control surface ocean currents and the redistribution of energy through latent heat from the ocean to the atmosphere.

Hydrographic conditions of the Estuary of St. Lawrence (ESL) and the Gulf of St. Lawrence (GSL) are characterized by particularly large seasonal contrasts of temperature, making unique the climate conditions of this epicontinental environment (de Vernal *et al.*, 1993). The ESL and GSL constitute a transitional marine environment between the St. Lawrence River and Estuary and the North Atlantic Ocean. A strong stratification characterizes these environments, where the intermediate and deep layers result from the mixing of variable proportion of waters from the North Atlantic and Labrador currents, while surface waters are characterised by low salinity due to freshwater inputs from the St. Lawrence River and its tributaries. Hence, the ESL and GSL are marked by a strong stratification fostering low thermal inertia and very pronounced seasonal cycle in the surface layer, which

records freezing conditions in winter and warming up to 18 °C in summer (Saucier and Chassé, 2000).

Variations in ombrotrophic peatland hydrology along the North shore of the ESL have been recorded and tentatively linked with changes in the hydrography of the ESL and GSL (Magnan and Garneau, 2014). Similarly, Hughes *et al.* (2006) have suggested that Holocene variations in bog surface wetness in eastern Newfoundland were driven by oceanic and solar forcing. However, the land-ocean interactions and their impact on peat hydrology need to be further evaluated and quantified.

In this paper, we aim at documenting the relationship between hydrographic conditions in the ESL and GSL and peatland hydrology along the North shore of St. Lawrence during the Holocene. In order to reconstruct climate, vegetation and oceanic changes simultaneously, we have analysed the palynological content of a core collected off Pointe-des-Monts at the mouth of the Lower ESL (Figure 1). A special attention was paid to the cysts of dinoflagellates (refer to as dinocysts hereafter), which are planktonic organisms with a distribution closely related to sea-surface conditions such as temperature, salinity and sea-ice cover (de Vernal and Marret, 2007). We also analyzed the pollen and spores originating from the onshore vegetation to allow direct correlation with the terrestrial palynostratigraphy (de Vernal *et al.*, 1993). Palynological analyses are thus particularly suitable for reconstruction of both terrestrial climate and sea-surface conditions through time. They will help to document how past climate changes have affected the hydrology of peatlands, which are widespread along the coastal plains in the North Shore of the ESL and GSL (Magnan *et al.*, accepted).

We also considered the benthic foraminifers and the isotopic composition ($\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{18}\text{O}$) of their calcareous shells. These proxies allow to reconstruct changes in the properties of bottom waters which are related to the North Atlantic water mixing with the Labrador Current and thus depend upon the ocean circulation along the

continental margins of eastern North America (e.g., Bilodeau *et al.*, 1994; Boyle, 1987).

4.2 Physiography and hydrography of the study area

The coring site is located in the Laurentian Channel at the end-member of the ESL in the GSL, 22.26 km southeast of Pointe-des-Monts (Figure 4.1).

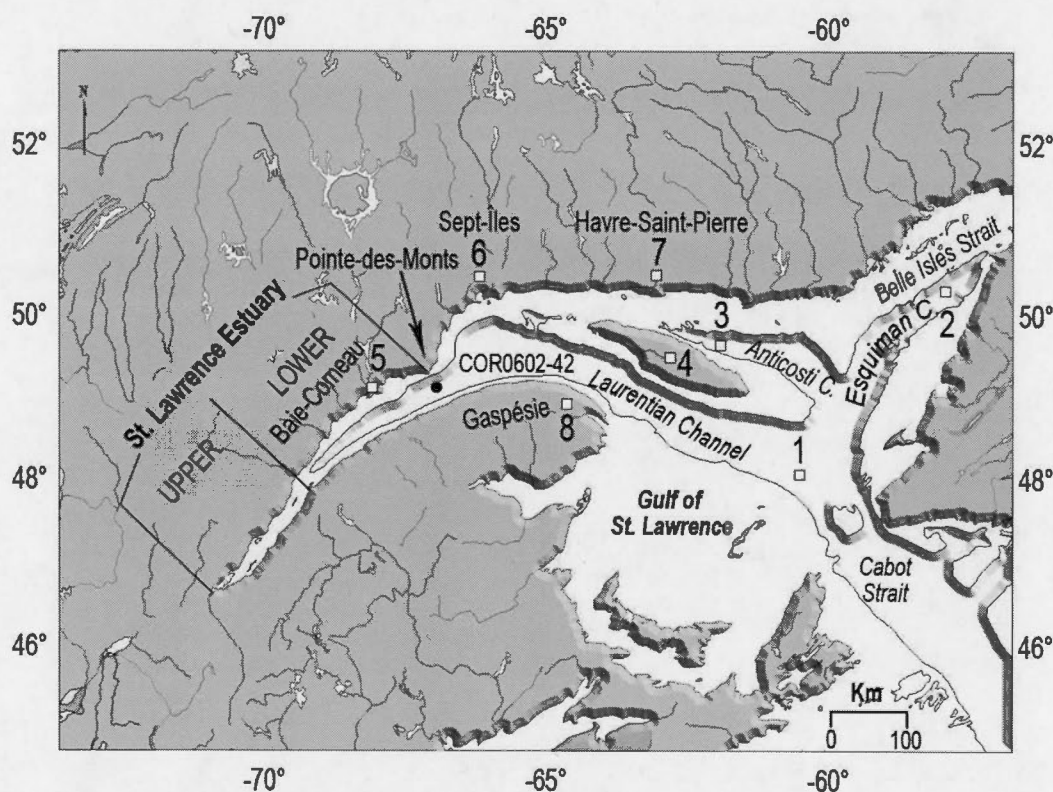


Figure 4.1 : Map of the St. Lawrence marine system and location of piston core COR0602-42PC (49°7.18' N – 67°16.80' W). The contour line corresponds to the 200 m isobaths. Studied cores mentioned in this article are as follows : 1- COR0503-37PC (48°20.01' N, 61°29.99' W; water depth = 408 m ; cf. Dhahri, 2010; Genovesi

et al., 2011), 2- CR06-TCE (50°28.36' N, 58°06.628' W; water depth = t 280 m; cf. Thibodeau *et al.*, 2013), 3- 89-007-16 (49°42.80' N, 61°56.90' W; water depth = 258 m; cf. de Vernal *et al.*, 1993), 4- Four peat cores on Anticosti Island (Observation, Port-Menier, Box and Baie des Trois Ruisseaux. cf. Lavoie and Fillion, 2001), 5- Two peat cores in Baie-Comeau peatlands (Baie and Lebel; cf. Magnan and Garneau, 2014), 6- Lac "LD", lake core in Sept-îles area (50°08.25' N, 67°07.55' W; cf. Mott, 1976), 7- Two peat cores in Havre-Saint-Pierre area (Plaine and Morts; cf. Magnan and Garneau, 2014), 8- Petit lac Bouchard, lake core (48°51.14' N, 64°35.52' W; cf. Asnong and Richard, 2003); J'arrive and lac à Euloge lake core (49°14.45' N, 65°22.20' W; cf. Marcoux and Richard, 1995).

The Great Lakes–St. Lawrence River watershed, which represents $1.03 \times 10^6 \text{ km}^2$ (Bourgault and Koutitonsky, 1999), is characterised by a freshwater discharge averaging $10\,900 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Bourgault and Koutitonsky, 1999). However, it is characterized by relatively low sediment load ($4 \times 10^6 \text{ t yr}^{-1}$) as the Great Lakes act as a sedimentary basin upstream (Rondeau *et al.*, 2000; Milliman and Meade, 1983). Most sediment load is thus coming from the downstream tributaries (Rondeau *et al.*, 2000). The Upper and Lower ESL are transitional environments between the St. Lawrence River and the northwest North Atlantic Ocean (Koutitonsky and Bugden, 1991; Dickie and Trites, 1983). The dominant bathymetric feature is the Laurentian Channel, a deep submarine valley $> 250 \text{ m}$ that extends over 1240 km from the continental shelf off Nova Scotia and Newfoundland in the northwest North Atlantic to Tadoussac upstream in the ESL. Seaward, the GSL forms a semi-enclosed sea of $226\,000 \text{ km}^2$. It is connected to the Ocean at the Cabot Strait, which is 104 km wide and where the Laurentian Channel is 408 m deep. The Belle Isle Strait also connects the GSL to the Ocean in the northeast. It is 16 km wide with a sill at a depth of 60 m.

Three water layers characterize the lower ESL and the GSL (de Vernal *et al.*, 2011; Dickie and Trites, 1983; Koutitonsky and Bugden, 1991). The surface water layer is characterized by low salinity (27–31.5) due to the freshwater runoff from the St. Lawrence River. This layer is less than 50 m thick and is marked by low thermal

inertia and thus records large amplitude of temperatures throughout the year, from freezing in winter up to 18 °C in August. Underneath, the Cold Intermediate Layer (CIL) extends to about 150 m. This layer develops from winter cooling and isopycnal penetration of cold Labrador Sea waters in the GSL from the Cabot and Belle-Ile straits. It has a mean temperature and salinity of 0 °C and 32 respectively (Gilbert and Pettigrew, 1997). It represents 26% in spring, 12% in summer and 4% in fall of the total volume waters of the Gulf. By the end of December to early January, the surface layer merges with the CIL due to the cooling and related vertical mixing of the waters (Gilbert and Pettigrew, 1997). Below the CIL, warmer (4-6 °C) and saltier (35) waters flow landward in the Laurentian Channel towards Tadoussac, the eastern limit of the Upper ESL. The bottom waters result from a mixing of the Labrador Current Water (LCW) and the North Atlantic Current Waters (NACW) (cf. Gilbert *et al.*, 2005).

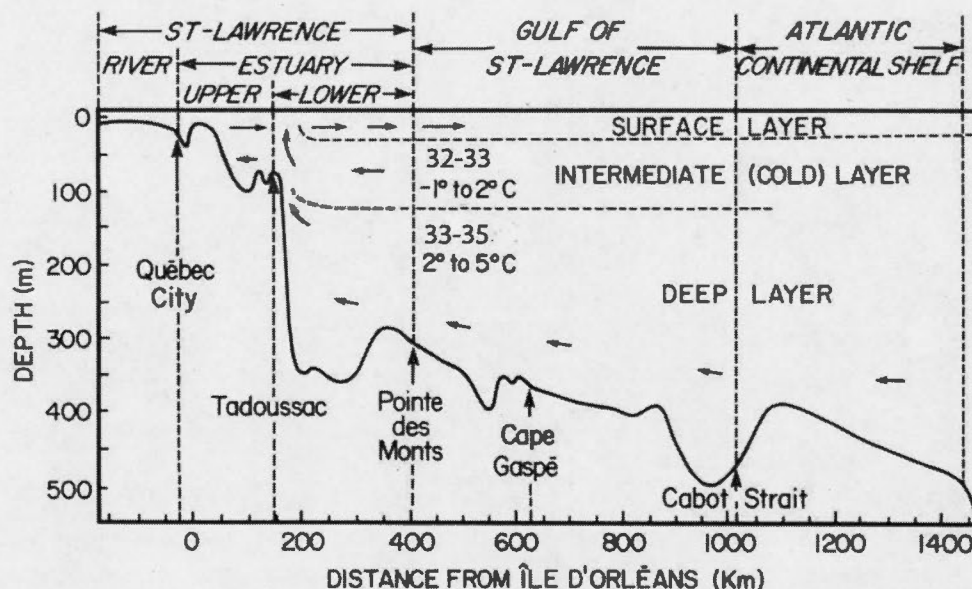


Figure 4.2 Schematic illustration of the water masses in the St. Lawrence (de Vernal *et al.*, 2011).

At the study site (Figure 1), summer sea-surface temperatures and salinity are 10.42 ± 2.73 °C and 27.53 ± 1.61 respectively (cf. World Ocean Atlas, 2001). Seasonal sea-ice cover lasts for 3 months year⁻¹ based on data provided by Fisheries and Oceans Canada and annual productivity is approximately 530 g C m^{-2} according to the MODIS data (<http://daac.gfc.nasa.gov>).

4.3 Material and methods

4.3.1 Sampling and laboratory treatment

The study core COR0602-42PC (49°7.18' N – 67°16.80' W; water depth 332 m) has been collected in the Laurentian Channel off Pointe-des-Monts during the 2006 cruise of the *Coriolis II*. This core is 7.28 m long and was retrieved using a modified version

of a BenthosTM of 10 cm diameter and 9 m long. The core has been stored in one meter long plastic liner sections and placed in a cold room at 4 °C at the *Institut des sciences de la mer de Rimouski* (ISMER).

After splitting, the sediment core has been subsampled at 1-cm interval and analysed at 8-cm intervals for its palynological content. Five cm³ of wet sediment subsamples have been sieved on 106 µm and 10 µm mesh sieves. Palynological preparation followed the procedures of de Vernal *et al.* (1996). The 10-106 µm fraction was treated with hydrochloric acid (HCl 10%) and hydrofluoric acid (HF 49%) to dissolve carbonates and silica particles. One tablet with a known number of *Lycopodium* spores (Stockmarr, 1971) was added to each sample before chemical treatments for concentration calculations. A final sieving was done through a 10 µm mesh sieve and a drop of glycerine was added to the residue for mounting between slide and cover slide and further analyses under microscope. The fraction >106 µm was dried out and kept for foraminifer counts.

4.3.2 Chronostratigraphy of the core

The chronostratigraphy of the core was established from radiocarbon analyses on shell fragments. Five AMS (Accelerator Mass Spectrometry) ¹⁴C dates of shell fragments are reported in Barletta *et al.* (2010). For this study, one shell fragment from 698 cm has been dated at the Keck-CCAMS facility (Irvine, USA). In total, six radiocarbon ¹⁴C dates (Table 1) were thus used to evaluate the age vs. depth relationship in core COR0602-42PC (Figure 2). The rarity of biogenic carbonate prevented more ¹⁴C measurements to be made for a more precise chronology of the core.

Table 4.1 Radiocarbon and calibrated ages

Sample depth (cm)	Radiocarbon age BP	Calibrated ages BP (2 sigma)	Dated material	Lab. number	From
20-21	1070 \pm 50	628 (538-717)	Pelecypod fragment	TO-13207	Barletta <i>et al.</i> , 2010
60-61	1160 \pm 50	724 (625-823)	Pelecypod valve	TO-13208	Barletta <i>et al.</i> , 2010
86-87	1570 \pm 50	1126 (1002-1249)	Pelecypod fragments	TO-13209	Barletta <i>et al.</i> , 2010
117-118	2100 \pm 50	1678 (1544-1811)	Pelecypod fragment	TO-13210	Barletta <i>et al.</i> , 2010
457-458	5360 \pm 100	5736 (5527-5945)	Pelecypod fragments	TO-13211	Barletta <i>et al.</i> , 2010
698-699	7290 \pm 270	7810 (7311-8309)	Pelecypod valve	UCIAMS- 123627	This study

4.3.3 Palynological analyses

91 samples were analyzed. Palynomorph identification and counts were performed using a transmitted light microscope at 400x magnification. All palynomorphs were systematically counted and mostly include pollen grains, spores, dinocysts and organic linings of foraminifers. They also include *Halodinium* (de Vernal *et al.* 1989). Here, we present the results from pollen and spores in addition to dinocyst counts. At least 300 pollen grains and spores were identified and counted in each sample using the nomenclature of Richard (1970), McAndrews *et al.* (1973) and Moore *et al.* (1991). About 300 dinocysts were identified and counted in each sample using the nomenclature of Rochon *et al.* (1999). Results are presented in diagrams of percentages. Finally, the fraction $> 106 \mu\text{m}$ have been systematically examined for benthic and planktonic foraminifer shells. The identification has been done using the

taxonomy established by Rodrigues *et al.* (1993). Detailed results of systematic counts can be found in Lemay-Tougas (2014).

4.3.3.1 Reconstruction of sea-surface conditions with the modern analogue technique (MAT)

In order to reconstruct sea-surface conditions from dinocyst assemblages, we used the Modern Analog Technique (MAT) as described by Guiot and de Vernal (2007). MAT is based on the similarity between fossil and modern spectra with the assumption that fossil population evolved in comparable environmental conditions to their modern analogues (Guiot and de Vernal, 2007). The reference dinocyst modern database used here is composed of 1492 modern sites from the Northern Hemisphere (cf. de Vernal *et al.*, 2013). It includes 66 taxa and covers a wide range of environmental conditions with respect to summer and winter sea-surface temperatures (SST) and sea-surface salinity (SSS), sea-ice cover duration as expressed in months year⁻¹, and primary productivity (de Vernal *et al.*, 2005; Guiot and de Vernal, 2007). The data can be found on the Geotop website (<http://www.geotop.ca>). We used MAT implemented in the R software (<http://www.r-project.org/>) following the procedure in Guiot *et al.* (2013). Prior to the search for analogue, the dinocyst percentages data were log-transformed in order to increase the weight of accompanying taxa and reduce the weight of cosmopolitan taxa. The five best analogues were selected from the reference database to calculate past sea-surface conditions from their average, weighted inversely to their distance. Validation exercises indicate an error of prediction of ± 1.4 month/year for the sea-ice cover, ± 1.2 °C and ± 1.6 °C for winter and summer SST, ± 2.6 for SSS and $55 \text{ g C m}^{-2} \text{ y}^{-1}$ for productivity (see also de Vernal *et al.*, 2013 for the accuracy of the approach). Modern SST and SSS data were compiled from the World Ocean Atlas (2001). The sea-ice cover expressed in months per year with > 50% of concentration was compiled from the 1953-2003 data provided by the NSIDC and from the regional data set of the GSL. Productivity

measurements result from MODIS database (<http://daac.gsfc.nasa.gov>) and are expressed in $\text{g C m}^{-2} \text{yr}^{-1}$ (cf. Radi and de Vernal, 2008).

4.3.4 Geochemical analyses

4.3.4.1 Oxygen ($\delta^{18}\text{O}$) and carbon ($\delta^{13}\text{C}$) isotopes analyses on benthic foraminiferal shells

The identification of calcareous benthic foraminifera was done using a stereoscopic binocular microscope at 40x magnification. In each sample, a minimum of eight shells of *Bulimina marginata* have been hand picked for ^{18}O and ^{13}C analyses at GEOTOP. The shells were first burned under vacuum at 250 °C during approximately one hour, followed by analyses on a micromass IsoprimeTM isotope ratio mass spectrometer in dual inlet mode coupled to a MultiCarbTM preparation system. CO_2 was extracted at 90 °C by acidification with 100% concentration phosphoric acid (H_3PO_4). Measurements were made with internal reference carbonate material calibrated against the V-PDB scale. The analytical reproducibility was routinely of about 0.05‰ (one sigma) for both carbon and oxygen isotopes.

4.3.4.2 Sediment carbon and nitrogen analyses ($\%C_{\text{org}}$, C_{org}/N , $\delta^{13}\text{C}$)

Between 7 and 10 mg of dried and crushed sediments yield from each sample was analysed following fumigation method (Hélie, 2009). This method consists of placing the sediment in tin cups and analysing it with a Carlo ErbaTM NC 2500 elemental analyzer to determine the weight percent total carbon (CTot) and total nitrogen (NTot) contents. The organic carbon content (Corg) was measured from sediments acidified by the fumigation method. Subsamples were weighed into silver cups and placed carefully in a clean Teflon tray. The tray was put in a closed glass container with 4N HCl beaker for 24 hours. During this interval, the HCl that saturated the air

in the container reacted with the carbonate minerals. After fumigation, the silver cups were closed, wrapped in tin cups and then analyzed with Carlo Erba™ NC 2500 elemental analyzer. The results are given in percent (%) of the total weight. Replicate measurements of organic analytical reference materials determined the analytical precision, which is estimated at $\pm 0.1\%$ for Corg and $\pm 0.3\%$ for N.

4.4 Results

4.4.1 Chronology and lithology

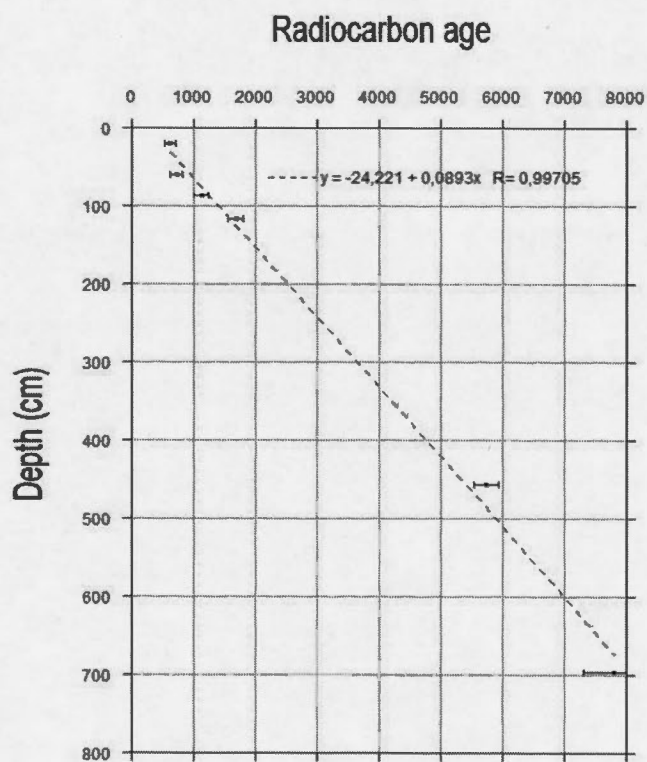


Figure 4.3 Age vs depth relationship in COR0602-42PC. The dashed line represents a linear fit of age in calendar years vs. depth in cm. The horizontal bars correspond to the standard deviation (2 sigma) of calibrated ages as in Table 1.

The sediment recovered in the core COR0602-42 PC contained mainly fine hemipelagic mud. As described in Barletta *et al.* (2010), the mean grain size ranges between 2.25 and 6 μm . Both grain size and magnetic susceptibility parameters show relatively uniform distribution, which suggests little changes in sedimentation regime for the entire sequence and supports the assumption of relatively constant sedimentation rate over the last 8000 years. The six AMS ^{14}C dates permitted to define a chronostratigraphic scheme for the last 8000 years. A simple linear fit suggests a mean sedimentation rate of 90 cm kyr^{-1} ($= 0.9 \text{ mm yr}^{-1}$) and the envelope taking into account the standard deviation (2 sigma) of the ages indicate maximum and minimum sedimentation rates of 420 cm kyr^{-1} ($= 4.2 \text{ mm yr}^{-1}$) and 60 cm kyr^{-1} ($= 0.6 \text{ mm yr}^{-1}$), respectively (Figure 2).

4.4.2 Biogenic content of sediment

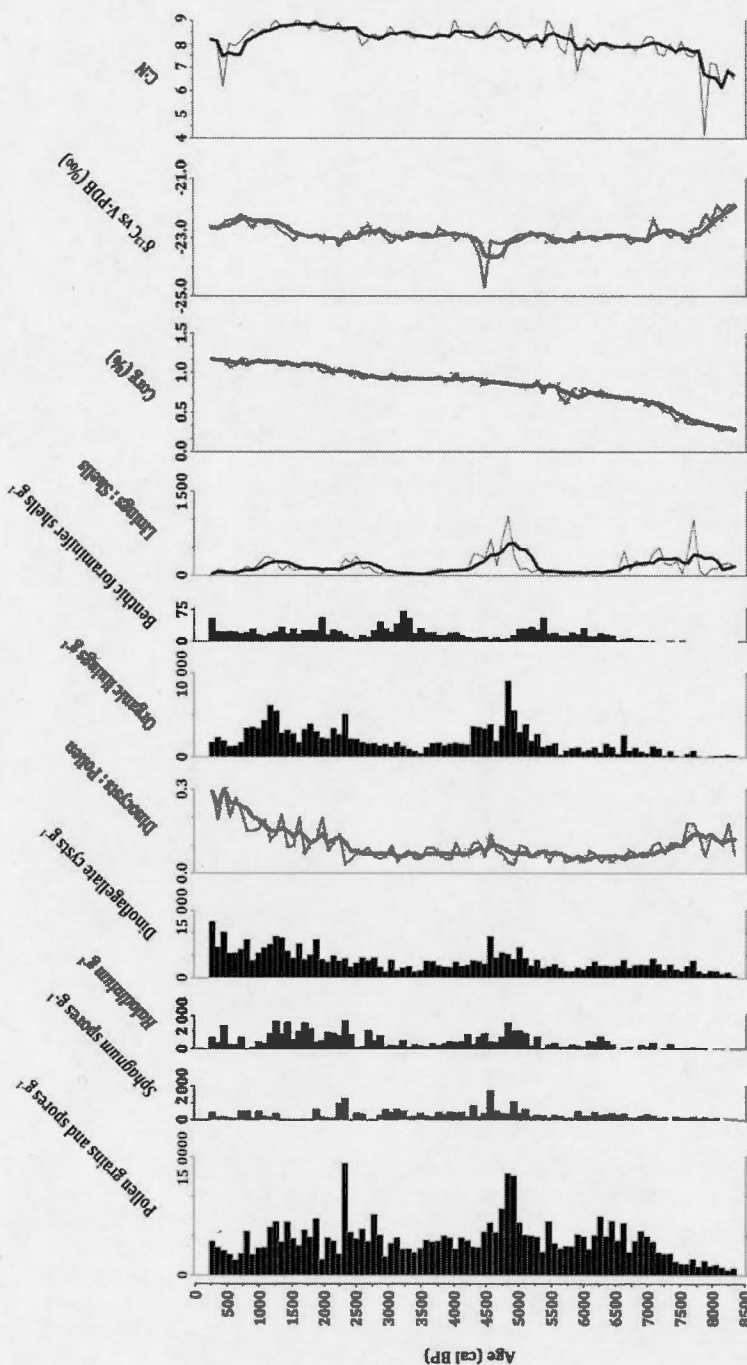


Figure 4.4 Concentration of palynomorphs, dinocysts to pollen ratio, concentration of foraminifers (organic linings and shells), foraminifer lining to shell ratio, organic carbon content (% of dry weight), $\delta^{13}\text{C}$ of organic carbon and organic carbon to total nitrogen ratio as function of age in cal. years BP. The bold curves correspond to 5-points running means.

Pollen grain and spore concentrations range from 10 000 to 130 000 grains g^{-1} with accumulation rates averaging about 5 000 grains $\text{cm}^{-2} \text{year}^{-1}$. Throughout the core, the dinocyst concentrations vary from 684 cysts g^{-1} at the base (8300 cal. BP) to 12 671 cysts g^{-1} (core top) with an average of $\sim 4\,000$ cyst g^{-1} (Figure 3). From bottom (8300 cal. BP) to 3000 cal. BP, dinocyst concentrations are low (3134 cysts g^{-1}), but recorded an increase between 5300 and 4300 cal. BP (5000 cysts g^{-1}) (Figure 3). From 3000 cal. BP to the top, a steady increase in cyst concentrations is observed (1600 cysts g^{-1} to 12 600 cysts g^{-1} , averaging 6000 cysts g^{-1}). The concentration of organic linings (benthic foraminifers) follow a similar pattern. They range from 0 to 9000 linings g^{-1} and recorded maximum 9167 linings g^{-1} at 4840 cal. BP (408 cm), and 6248 linings g^{-1} at 1167 cal. BP (80 cm). Lower concentrations of benthic foraminiferal shells characterize the core (< 75 shells g^{-1}) especially from 8300 cal. BP to 6500 cal. BP (< 5 shells g^{-1}). The much lower concentration of benthic foraminifer shells as compared to organic linings (Figure 3) indicates that carbonate dissolution probably occurred in the sediment (cf. Leduc *et al.*, 2002). The dominance of pollen and spores over dinocysts that characterizes the palynological assemblage of core COR0602-42PC is a characteristic of estuarine environments (cf. de Vernal and Giroux, 1991).

The C_{org} content of the sediment shows a slow and constant increase from 0.27% at the base of the core to 1.17% near the surface. Such low increase in C_{org} may be associated with a continuous increase in organic matter fluxes and/or diagenic effect increasing with depth in the sedimentary column. The absence of major variations in organic carbon content suggests regular sedimentary inputs and strengthen the hypothesis of relatively constant sedimentation rate (Figure 2). The $\delta^{13}\text{C}$ average -22.90‰ corresponds to values typical of marine organic matter (OM) with low influence of terrestrial OM (Muzuka and Hillaire-Marcel, 1999). The $\delta^{13}\text{C}$ curve shows two notable changes. A decrease from -21.9 to -23.2 occurred between 720 and 656 cm (8300 and 7600 cal. BP). It would represent an increase in terrestrial

organic matter input as suggested by a peak in pollen concentration. From 1500 cal. BP to core top, $\delta^{13}\text{C}$ values are increasing from -23.1 to -22.2, which could be interpreted as an increase in marine productivity. Organic carbon to total nitrogen ratio varies from 4.16 to 9.08, averaging 8.37. There is a slight increasing trend from core bottom to core top with two depletion episodes, one between 720 and 656 cm (8300 to 7600 cal. BP), and the second between 40 cm and core top (719 to 271 cal. BP). As the $\delta^{13}\text{C}$, the C/N data suggests higher proportion of marine over terrestrial organic matter except at the bottom and at the top of the core.

4.4.3 Pollen and spores

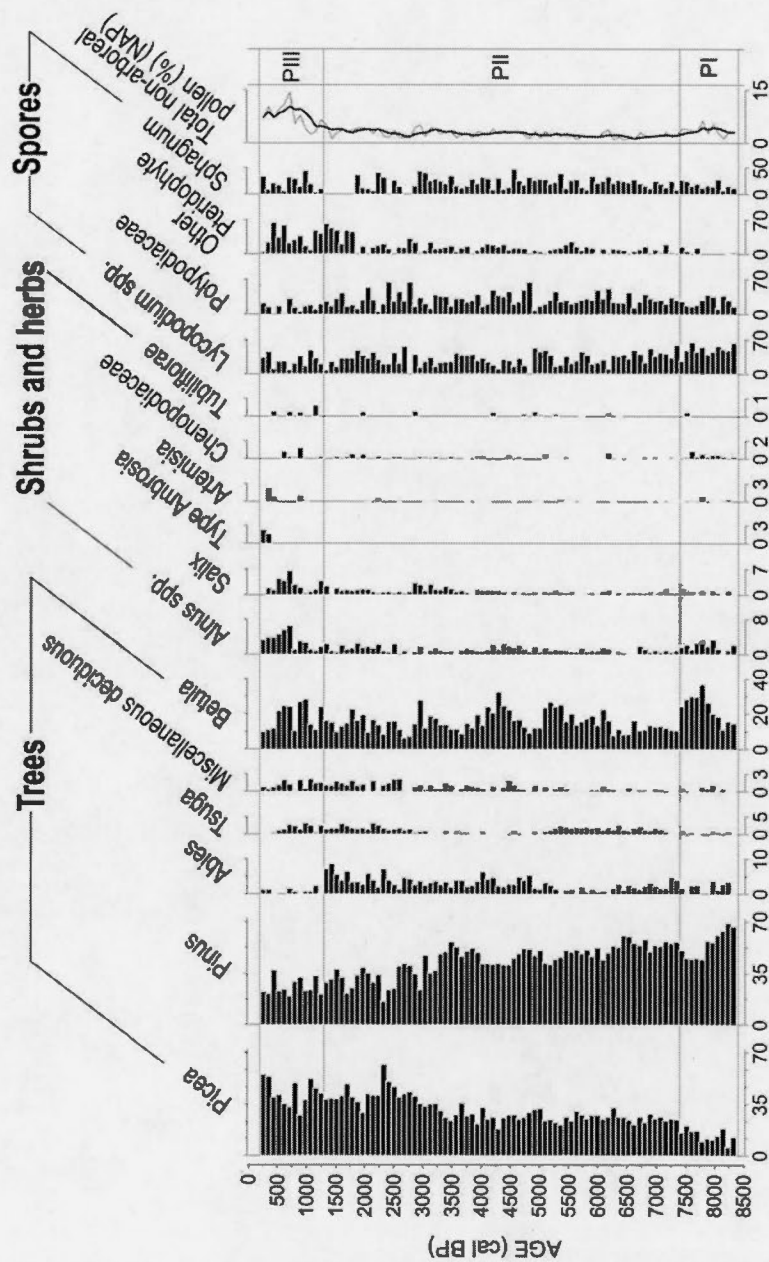


Figure 4.5 Pollen and spore assemblages and relative abundance of the most abundant species as a function of age in core COR0602-42 PC.

The identification has been made at genus or family level. Percentages as reported in Figure 4.5 were calculated from the sum of pollen grains. The assemblages are largely dominated by coniferous tree taxa (*Picea*, *Pinus*, *Abies*). Deciduous tree taxa include Aceraceae. *Alnus* spp. includes *Alnus crispa* (0-6%) and *Alnus rugosa* (0-1%). Among spores, *Lycopodium* spp. include *Lycopodium annotinum* (0-3%), *Lycopodium clavatum* (0-1%) and *Huperzia selago* (0-0.5%). The Pteridophytes include trilete spores other than *Lycopodium* and *Sphagnum*.

Pollen assemblage zones (PI, PII and PIII) were defined visually based on variations of pollen percentages, notably those of *Picea*, *Abies* and non-arboreal pollen. Zone PI (720-640 cm; 8300 to 7400 cal. BP) is characterized by high abundance of *Betula*, *Pinus* and non-arboreal pollen, notably *Alnus* and *Salix*. The lower part of the core is characterized by *Pinus* (45-70%), *Betula* (11-37%) and *Picea* (6-25%) as the most abundant taxa.

The second Zone, PII (640-271 cm; 7400 to 1300 cal. BP) is characterized by a decrease of *Pinus* percentages (52 to 23%) and increase of *Picea* (25 to 55%). Between 6300 and 5300 cal. BP, relatively low percentages (1-3%) of *Tsuga* are recorded. After 5300 cal. BP, *Tsuga* disappeared while *Abies* recorded an increase (from 0.2 to 9%). *Tsuga* is barely present (< 1%) until 2750 cal. BP and increased slightly to 1-3% afterwards.

Zone III (88-0 cm; from 1300 cal. BP) is marked by a drastic decline in *Abies* (7 to 0%), maximum of *Alnus* (6%) and relatively high percentages of *Salix* (6%). Finally, the type *Ambrosia* occurred in the uppermost part of the core, after ca. 400 cal. BP.

The pollen assemblages of this core allow correlations with the palynostratigraphy of adjacent terrestrial areas which also show maximum of spruce and the development of closed boreal forest after about 7500 BP (e.g., Mott, 1976; Lavoie and Filion,

2001; Asnong and Richard, 2003; Marcoux and Richard, 1995; Engstrom and Hansen, 1985).

4.4.4 Dinocyst assemblages

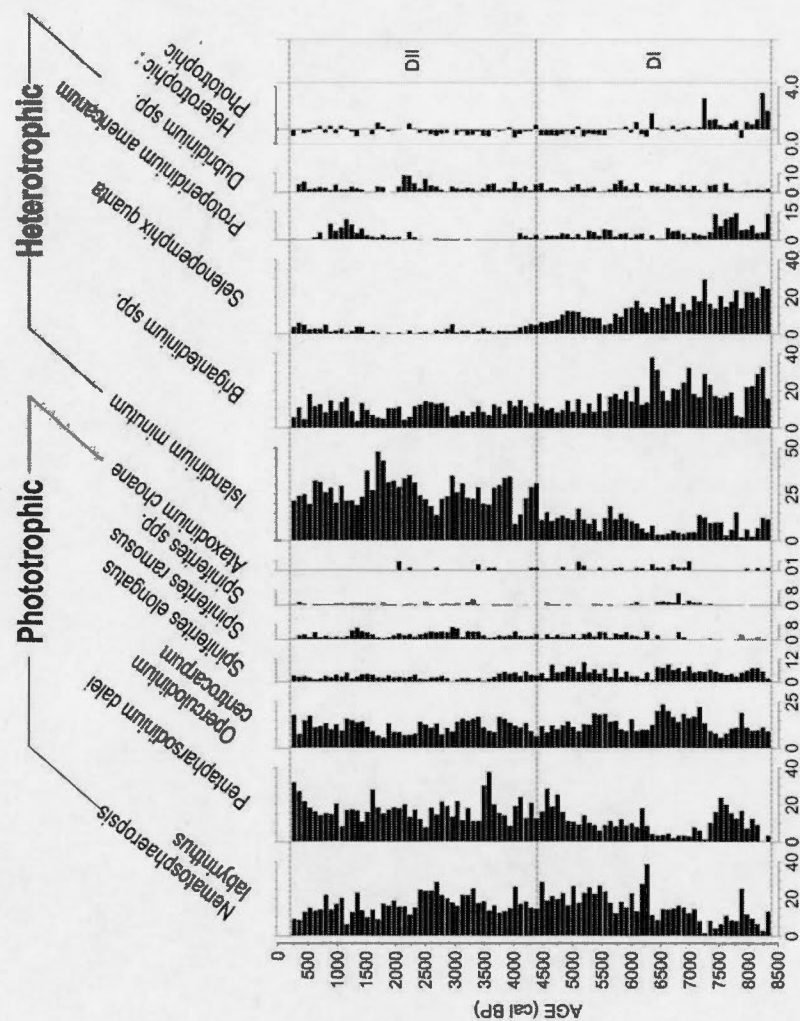


Figure 4.6 Dinocyst assemblage zones, relative abundance of the most abundant species and heterotrophic to phototrophic ratio as a function of age in core COR0602-42 PC. *Spiniferites* spp. includes *Spiniferites delicatus* (0-7%), *Spiniferites mirabilis* (0-0,7%) and other unidentified *Spiniferites* taxa (0-

A total of 20 dinocyst taxa were identified including 12 phototrophic and 8 heterotrophic species. The stratigraphic distribution of the main taxa is illustrated in figure 5 and the detailed counts can be found in Lemay-Tougas (2014). The assemblages are consistent with those reported from other studies in the GSL and ESL (e.g., de Vernal *et al.*, 1993; Dhahri, 2010; Thibodeau *et al.*, 2013). The assemblages are dominated by *Nematosphaeropsis labyrinthus*, *Operculodinium centrocarpum* and the cyst of *Pentapharsodinium dalei* in addition to *Islandinium minutum* and *Brigantedinium* spp. They belong to the postglacial assemblage zone, younger than ca. 8500 BP, which was defined by de Vernal *et al.* (1993) on the basis of the occurrence of *Nematosphaeropsis labyrinthus*.

Two main assemblage zones can be distinguished based on the dominance of heterotrophic and phototrophic taxa. Zone I : From the base of the core to ca. 4400 cal. BP (376 cm), heterotrophic taxa dominate the assemblages. The occurrence of *Selenopemphix quanta* (5 to 30%) appears characteristic. The significant percentage of *Protoperidinium americanum* (up to 15%) is also notable. Among phototrophic taxa, *Nematosphaeropsis labyrinthus* (20-40%), *Pentapharsodinium dalei* (0,6-29%) and *Operculodinium centrocarpum* (6-24%) are the most abundant. They record relatively high variability in their percentages. From 7400 to 6400 cal. BP (640-552 cm), minimum percentages of *Pentapharsodinium dalei* are recorded while *Operculodinium centrocarpum* reached maximum percentages of 24%.

Zone II : In the upper part of the core, after 4400 cal. BP (376 cm), heterotrophic species is characterized by high percentages of *Islandinium minutum* (10 to 48%) and the decrease of *Selenopemphix quanta* (< 5%). Phototrophic species are dominated by *Nematosphaeropsis labyrinthus* (7 to 29%), cyst of *Pentapharsodinium dalei* (9 to 38%), and *Operculodinium centrocarpum* (6 to 18%). In the upper part of the zone a small recurrence peak of *Protoperidinium americanum* (up to 5%) centered around 1200 cal. BP can be noted.

4.4.5 Reconstruction of sea-surface conditions

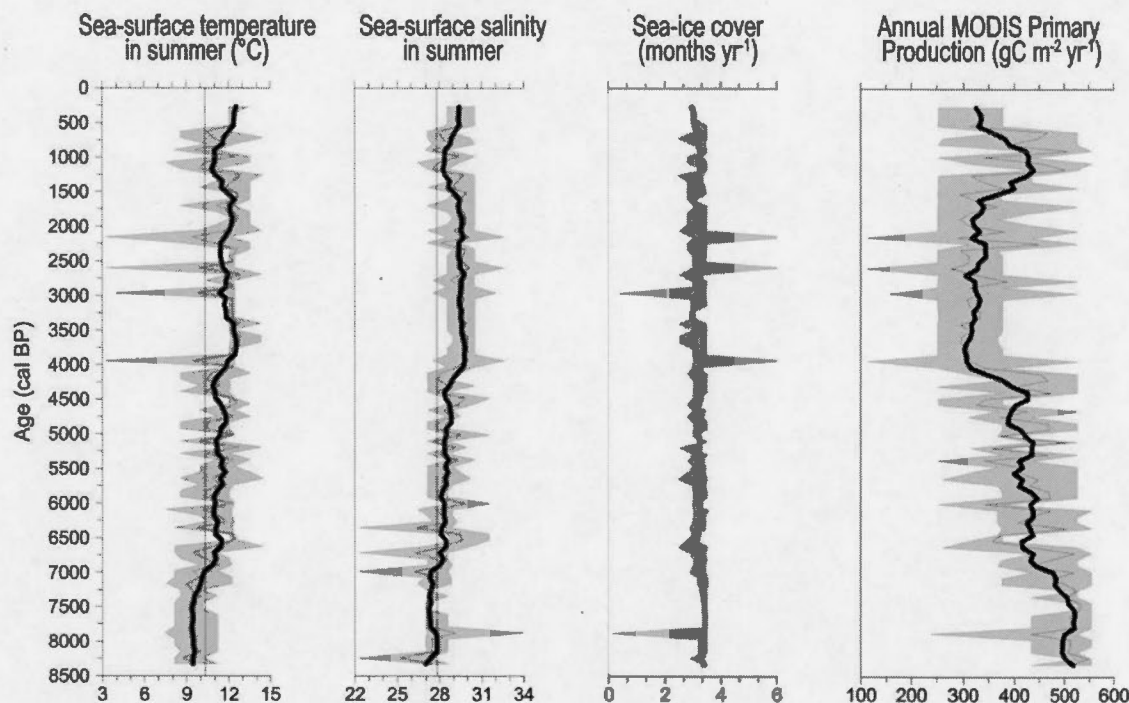


Figure 4.7 Sea-surface condition estimates based on MAT applied to dinocyst assemblages as function of age for in core COR0602-42PC. The bold curves correspond to 5-points running means the gray zones represent the maximum and minimum values according to the set of 5 analogues. Modern sea-surface temperature and sea-surface salinity from the World Ocean Atlas (2001) are indicated by the vertical gray line.

Sea-surface conditions reconstructed from MAT (Figure 6) appear reliable as they are based on high dinocyst counts and because all samples have very close modern analogues. The analogues are mainly from the ESL and GSL. The reconstructed sea-surface temperature (SST) mostly varied around modern values. Summer SST average 11.2 °C with a minimum (8.8 °C) recorded around 8250 cal. BP and a

maximum (12.9 °C) recorded around 1250 cal. BP. From 7400 to about 4000 cal. BP, summer SST increased gradually from 8.8 °C to 10 °C. In the upper part of the record SSTs stabilized at 11-12 °C, with the exception of a slight cooling from ca. 1500 to ca. 700 cal. BP. Salinity shows large variations following the same pattern than summer SSTs. The analogues suggest mean salinity of 29, with value as low as 25 at 8250 cal. BP to values of about 30 during the last 4000 years, with the exception of a low salinity pulse at 1500-700 cal. BP. Despite variations in SSTs, there is no marked changes in the reconstructed sea-ice cover, which indicate freezing conditions for about 3 months yr^{-1} throughout the last 8300 years. Productivity also varied but inversely to the SSTs and salinity. Reconstructed productivity ranged from 280 to 550 $\text{g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$, with an average of 425 $\text{g C m}^{-2} \text{y}^{-1}$.

Overall, salinity and temperature fluctuate in parallel and inversely to the productivity. Such variations seem to reflect changes from more estuarine (low salinity and SST and high productivity) to more oceanic (high salinity) conditions and would thus correspond to variations in the freshwater discharge and hydrological budget on the regional scale.

4.4.6 Benthic foraminifer assemblages

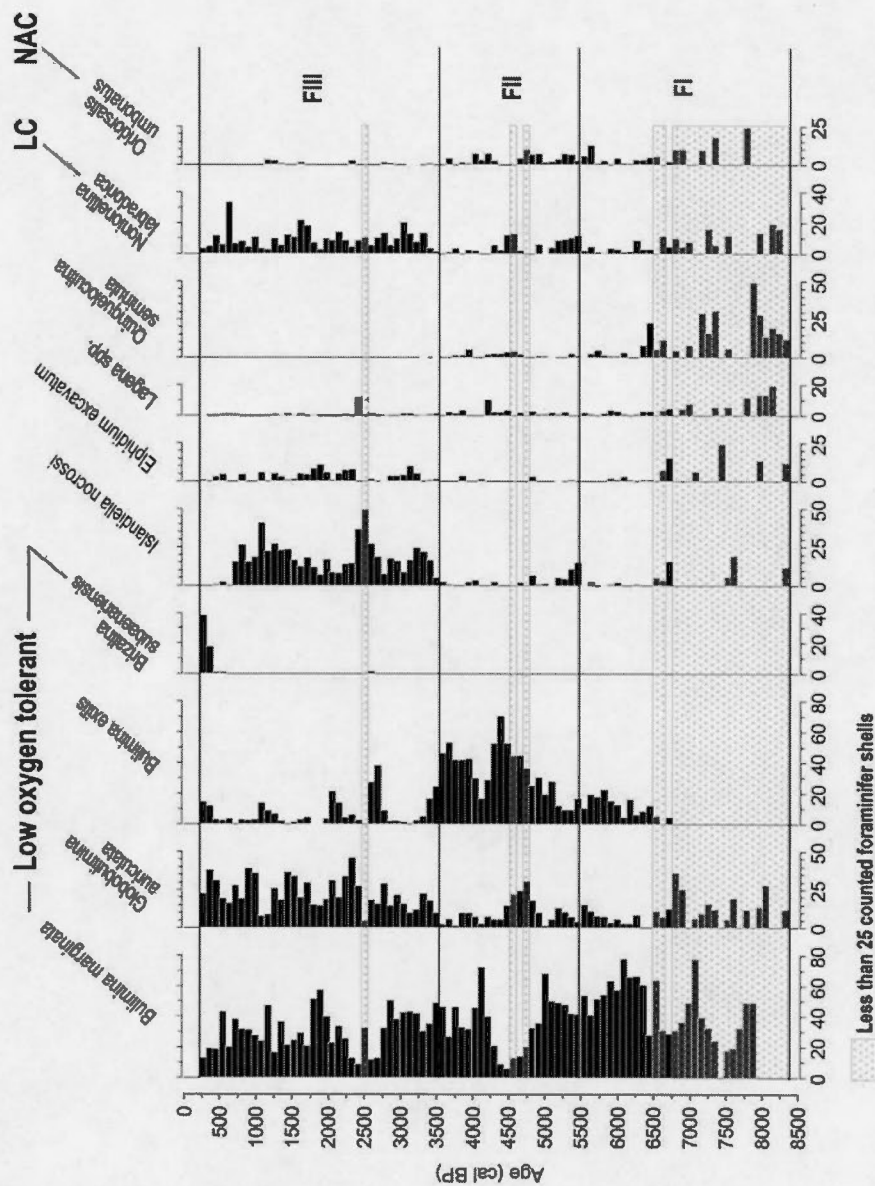


Figure 4.8 Foraminifer assemblages and the relative abundance of the most abundant species as a function of age in core COR0602-42 PC. LC and NAC stands for Labrador Current and North Atlantic Current respectively.

The core is dominated by benthic species with calcareous shells (Figure 7). Planktonic foraminifers are rare and only one species was identified : *Neogloboquadrina pachyderma* left coiling. The concentration of benthic foraminifers (Figure 3) varies from 1 to 72 shells g^{-1} with an average of 19 shells g^{-1} . The dominant species are *Bulimina marginata* (7-79%), *Bulimina exilis* (0-71%), *Globobulimina auriculata* (0-47%), *Islandiella nocrossi* (0-42%), *Bryzalina subaenariensis* (0-40%) and *Nonionellina labradorica* (0-34%). Accompanying species include *Quinqueloculina seminula* (0-23%) and *Oridorsalis umbonatus* (0-13%), a species typical of North Atlantic waters (Bilodeau *et al.*, 1994).

Three Zones (FI-FIII) were defined visually from the percentages of the dominant species. The first (720-472 cm; 8300 to 5500 cal. BP) contains rare foraminifers and the concentrations were too low to reach statistically significant counts. Twelve samples over 32 contained more than 25 foraminifer shells. Low concentration of foraminifer shells (1-34 shells g^{-1}) may indicate low benthic productivity, but the recovery of organic linings reaching up to 2700 g^{-1} (Figure 3) rather points to calcium carbonate dissolution in the sediment. Zone FI is characterized by abundant *Bulimina marginata* (55%) and *Bulimina exilis* (13%). These species are related with hypoxic environment (Sen Gupta and Machain-Castillo, 1993; Jorissen *et al.*, 2007; Fontanier *et al.*, 2002) and more precisely dysoxic water for *Bulimina exilis* (e.g., Kaiho, 1994; Jorissen *et al.*, 2007).

Zone FII (472-304 cm; 5500 to 3700 cal. BP) is characterized by very high percentages of *Bulimina exilis* (34%)

Zone FIII (304-0 cm; 3700 to 271 cal. BP). Is characterized by the diminution of increased percentages of *Globobulimina auriculata*, *Islandiella nocrossi* and *Nonionellina labradorica*. It is worth noting that the latter is characteristic of cold waters of the Labrador shelf (Bilodeau *et al.*, 1994). Also to note, is the decrease around 300 cal. years BP of *Bulimina marginata* (44 to 14%), *Nonionellina*

labradorica (34 to 4%), *Islandiella nocrossi* (27 to 0%), and *Elphidium excavatum* (5 to 1%) relative to the increase of *Brizalina subaenariensis* (0 to 40%) and *Bulimina exilis* (0 to 15%), which has been seen in the GSL by Genovesi *et al.* (2011) and attributed to a trend towards hypoxic conditions.

4.4.7 Isotopic composition of *Bulimina marginata* shells

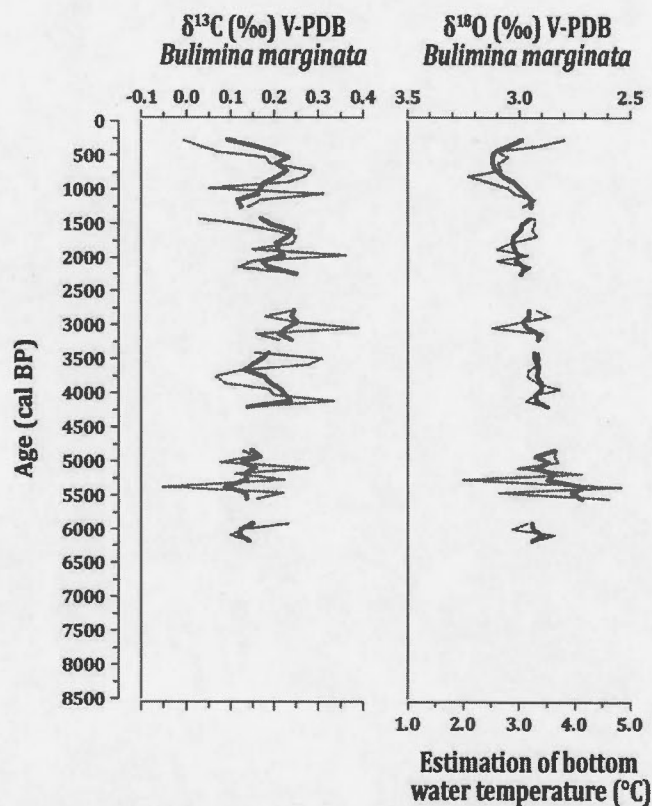


Figure 4.9 Isotopic composition of *Bulimina marginata* shells and estimation of bottom water temperature as function of age assuming no changes in salinity. The bold curve represent 5-point running means

Unfortunately, many samples contained too few shells of *Bulimina marginata* (< 8) to allow reliable stable isotope analyses. Therefore, the record is discontinuous especially at the base of the core, below 536 cm (> 6300 cal. BP). Nevertheless, some changes can be reported. The $\delta^{13}\text{C}$ values of *Bulimina marginata* show slight variations ranging from -0.05 to 0.39‰ with an average of 0.17‰ . Taking into

account the analytical reproducibility of 0.05‰, the inference of a trend should be made with caution. The $\delta^{18}\text{O}$ values are ranging from 2.54 to 3.25‰ showing a decreasing trend from the lower part of the record (2.5‰) to the top of the core (3.1‰). The assumption of quasi-uniform isotopic composition of ambient water ($\delta^{18}\text{O}_w$) (cf., Genovesi *et al.*, 2011; Dhahri, 2010) allows to convert the isotopic composition of the biogenic carbonate ($\delta^{18}\text{O}_c$) into temperature (t), based on the paleotemperature equation of Shackleton (1974):

$$t = 16.9 - 4.38 (\delta^{18}\text{O}_c - A) + 0.10(\delta^{18}\text{O}_c)^2$$

where $A = (\delta^{18}\text{O}_w - 0.27)$, t is the temperature (in °C) at the time of calcite precipitation, $\delta^{18}\text{O}_c$ is the isotopic composition of calcite (relative to V-PDB), and $\delta^{18}\text{O}_w$ is the isotopic composition of the ambient water relative to Vienna-Standard Mean Ocean Water (V-SMOW). For $\delta^{18}\text{O}_w$, value of 0.07‰ have been used as other recent studies in GSL (Genovesi *et al.*, 2011; Dhahri, 2010). This value is an average of $\delta^{18}\text{O}$ measurements in the GSL (Schmidt *et al.*, 1999). The estimation from $\delta^{18}\text{O}_c$ indicates variations that range between 1.7 °C and 4.9 °C in bottom waters with an average of 3.1 °C (Figure 8). From core bottom to 700 cal. BP, there is a slow decrease in temperature from 4.6 °C to 1.8 °C. Such a cooling is consistent with the changes in benthic foraminifer assemblages marked by a decrease of *Oridorsalis umbonatus* relative to *Nonionellina labradorica* in the upper part of the core. At the top part of the record, $\delta^{18}\text{O}_c$ suggests a rapid warming in bottom water as documented by Thibodeau *et al.* (2013) and Genovesi *et al.* (2011) in the ESL and GSL respectively.

4.5 Discussion

In this study, we compared the pollen assemblages of two Holocene records from adjacent land with pollen assemblages recovered in COR0602-42PC to reconstruct hydrographic and vegetation history. A synthesis of regional Holocene records from marine sediments, coastal bog (Magnan and Garneau, 2014) and terrestrial pollen data has been made to highlight the most important transitions (Table 2).

Table 4.2 Summary of Holocene vegetation history from pollen data, marine conditions and peatlands dynamics of the North shore of St. Lawrence, Gaspé Peninsula and Gulf of St. Lawrence (Magnan and Garneau, 2014)

Age (cal BP)	Vegetation history			Marine conditions		Peatlands dynamics
	6-Sept-Îles (Mott, 1976) (Figure 1)	8-Gaspésie (Marcoux and Richard, 1995) (Figure 1)	Gulf of St. Lawrence (This study)	Gulf of St. Lawrence		5 and 7-St. Lawrence North Shore (Magnan and Garneau, In press) (Figure 1)
				Sea-surface conditions (Dinocysts) (This study)	Bottom water conditions (Foraminifer) (This study)	
0				Oceanic conditions;	Hypoxia	
500				Estuarine conditions;	High percentages <i>Nonionella labradorica</i> ;	Combination of allogenic and autogenic peatland dynamics
1000					High percentages <i>Elphidium excavatum</i> ;	
1500					Colder Labrador Current Water;	Late Holocene dry phase
2000				Oceanic conditions; High salinity; Warmer waters; Lower productivity;		
2500					High percentages <i>Bulimina exilis</i> ;	Combination of allogenic and autogenic peatland dynamics
3000					Dysoxic water;	
3500				Mixed waters; Warmer waters; Higher salinity; High Productivity;	?	
4000						
4500						
5000						
5500						
6000						
6500						No Data
7000						
7500	2				No Data	
8000	1	2	2	Estuarine, cold waters; High productivity		
8500						

1 = Shrub-open forest; *Alnus-Picea-Abies-Betula*

2 = Afforestation; *Abies-Betula-Picea-Alnus*

4.5.1 Postglacial vegetation history

4.5.1.1 The early postglacial afforestation phase

The decrease of *Alnus crispa* relative to the increase of *Picea* at ca. 7250 cal. BP in pollen assemblages suggests a transition from shrub tundra vegetation to spruce forest on adjacent lands. Pollen data from terrestrial areas, notably the North Shore also show the *Alnus crispa* decrease and the augmentation of *Abies-Picea-Betula* during approximately the same period and were interpreted as the result of the regional afforestation (e.g., Marcoux and Richard, 1995; Mott, 1976; Asnong and Richard, 2003; Lavoie and Filion, 2001; King, 1986). In the terrestrial pollen diagram (e.g., Marcoux and Richard, 1995; Mott, 1976; Asnong and Richard, 2003; Lavoie and Filion, 2001; King, 1986), *Alnus* percentages are higher than in the marine record whereas *Picea* and *Pinus* record lower percentages. This could be explained by an over-representation of bisaccate pollen such as *Picea* and *Pinus* in marine sediment (Rochon and Vernal, 1994; Mudie, 1982).

4.5.1.2 Closed Boreal forest phase.

The marine pollen record suggests the establishment of the boreal forest at about 7250 cal. BP, based on the increase of *Pinus* and *Picea*, which is synchronous with palynological studies of Sept-Îles and Gaspésie (Mott, 1976; Lavoie and Filion, 2001). The *Tsuga* decline (Bennett and Fuller, 2002; Fuller, 1998) documented regionally has been recorded between 5300 and 2750 cal. BP in COR0602-42PC core, which is also consistent with the literature. The last 1300 years were marked by drastic decrease in *Abies* percentages (7 to 0%) in the marine core, which contrasts with observations by Marcoux and Richard (1995) who rather record an increase of *Abies* after 2400 cal. BP. As the Marcoux and Richard (1995) study is from the south in the Gaspésie peninsula, the discrepancies between the records might indicate

regionalism in the development of *Abies* and/or limited pollen inputs from the south at the marine coring site. In the pollen diagram, the increase of *Salix* and *Alnus* that may reflect an opening of the forest cover in the source area after ca. 700 cal. BP could be associated to increased inputs from the North, or to a regional cooling during the Little Ice Age. Finally, *Ambrosia* pollen occurrence after ca. 400 cal. BP coincides with early anthropization and the spreading of ruderal plants. Overall, it seems that pollen assemblages in COR0602-42PC provide a picture of regional vegetation history. *Sphagnum* spores could have been a good indicator of peatland development but they record low percentages throughout the core.

4.5.2 Postglacial paleoceanography of the GSL

4.5.2.1 Early postglacial (8300 to 4500 cal. BP).

The dinocyst assemblages suggest cool temperate sea-surface conditions as mentioned by de Vernal *et al.* (1993). From 8300 to 4000 cal. BP, summer SSTs gradually increased from 9 °C to 12 °C. They reached values similar to the present at about 6800 cal. BP. For this period, the dinocyst assemblages have recorded a transition which we associated with the mid-Holocene warming. This transition is marked by the decrease of *Brigantedinium* spp., which often characterizes upwelling systems and high productivity in all thermic domain (de Vernal and Marret, 2007), the decrease of *Selenopemphix quanta*, which can inhabit warmer to cold environments, and the increase of *Islandinium minutum*, which features cold arctic waters and sea ice cover (de Vernal *et al.*, 2005; Potvin *et al.*, 2013). The variation in dinocyst assemblages can be interpreted as a change in trophic conditions and productivity as the relative abundance of heterotrophic taxa is associated with high productivity (Radi and de Vernal, 2008). Our results also show decrease in

heterotrophic to phototrophic ratio, from 3.4 to 0.4 (Figure 5), which corresponds to a decrease in productivity from 515 to 475 g C m⁻² y⁻¹.

The increase in sea-surface temperature from 7500 cal. BP is synchronous with the end of the afforestation phase suggesting a linkage between regional climate and sea-surface temperatures. In parallel to SSTs, salinity increased during the early-mid Holocene to reach modern values at about 6800 cal. BP. This early Holocene transition probably reflects a decrease in freshwater discharge, which could be attributed to decrease in precipitation over the St. Lawrence watershed and/or meltwater from the residual Laurentide ice dome that finally retreated about 6000 years ago (Dyke and Prest, 1987). In any case, the parallel variations of SSTs and salinity reflect changes from more estuarine to more oceanic conditions.

Low concentration of foraminifer shells but higher abundance of organic linings suggest that dissolution has occurred in the sediment. High productivity and C_{org} fluxes to bottom waters responsible for high CO₂ release in sediment may explain the poor CaCO₃ preservation.

4.5.2.2 Mid- to late-Holocene.

After 4500 cal. BP, the reconstruction of relatively high sea-surface salinity and temperature, together with lower productivity may reflect lower freshwater and nutrient inputs and more oceanic conditions. Concomitantly, increasing $\delta^{18}\text{O}$ in *Bulimina marginata* shells followed by increased percentages of *Nonionellina labradorica* and *Elphidium exavatum* suggest cooling in bottom water by the increased contribution of the LCW relative to NACW. This points to a decoupling between surface water conditions, which are controlled by regional hydroclimatic conditions, and bottom water properties, which are driven by the large-scale ocean circulation patterns (cf. Gilbert *et al.*, 2005). Hence, the mid- to late-Holocene

cooling in bottom water of the Laurentian Channel is consistent with the large-scale climate trends, notably in the North Atlantic (e.g., Marcott *et al.*, 2013) and/or with a gradual decrease of the strength of the North Atlantic Current relative to the Labrador Current along the eastern Canadian margins. The relatively high sea-surface salinity and temperature in the GSL and relatively uniform conditions would reflect the establishment of modern-like hydroclimatic conditions in southeastern Canada.

The late-Holocene part of the record is marked by subtle changes in surface water conditions. Two slight cooling events seem significant although their amplitude is small (~ 2 °C). The first one is marked by a decrease in SST at about 2500 and 2200 cal. BP accompanied by a slight increase in seasonal extent of sea-ice cover. The second cooling is centered at 1200 cal. BP and is accompanied with lowering of sea-surface salinity, thus suggesting a change in the hydroclimatic regime with possibly higher precipitation at the scale of the drainage basin. This pulse is marked by a maximum in productivity, which is consistent with dinocyst assemblages and $\delta^{13}\text{C}$ of the organic matter. From 300 cal. BP, some results indicate a shift towards deep water hypoxia. The decrease in *Bulimina marginata*, a suboxic related taxa (Kaiho, 1994), the increase of *Bulimina exilis* and *Brizalina subaenariensis*, which dysoxic related taxa (Kaiho, 1994), reflect a trend towards hypoxic conditions (e.g., Thibodeau *et al.*, 2013; Lefort *et al.*, 2012; Genovesi *et al.*, 2011). This recent trend is associated with warming in bottom waters, responsible for higher respiration rates and oxygen consumption together with the enhanced contribution of the oxygen poor Atlantic waters relative to the oxygen rich Labrador waters (cf. Gilbert *et al.*, 2005; Thibodeau *et al.*, 2013; Genovesi *et al.*, 2011). The isotopic record of benthic foraminifers in the study core provides further evidence for this last centuries warming in bottom waters at the scale of the Laurentian Channel

4.5.3 Holocene ombrotrophic peatland dynamics

Long-term variations in bog paleohydrology and carbon accumulation were attributed to changes in regional climate over the Holocene in the Baie-Comeau and Havre-Saint-Pierre regions (Magnan and Garneau, 2014) (see sites 5-7; in Figure 1; cf. Table 2). The main mid- to late-Holocene changes recorded in our marine core are synchronous with changes in peat stratigraphy and productivity of St. Lawrence North Shore bogs. There is a trend towards drier surface conditions after ~2800 and a return to wet conditions after ~1200 in the coastal bogs (Magnan and Garneau, 2014a,b. In the marine record, this interval corresponds to the highest temperature and salinity of the entire Holocene, which suggests more oceanic conditions with reduced freshwater discharge to the ESL and GSL probably due to drier climate conditions and reduced precipitation at the scale of the watershed. The transition towards lower salinity and cooler SSTs at about 1400 cal. BP would correspond to an increases input of freshwater, thus more humid and cooler regional climate, which also appears consistent with the hydrological reconstructions of bogs by Magnan and Garneau (2014b. In the hypothesis of both sea-surface conditions and peatland hydrology being the integrated response to the hydroclimatic regime, the trend after Little Ice Age towards warmer and more saline, thus drier conditions could lead to reduction in the peatland development along the St. Lawrence North Shore.

4.6 Conclusion

In Europe, shifts in peatlands surface wetness during the Holocene are generally interpreted as changes from cool and/or wet to warm and/or dry climate conditions (Barber *et al.*, 2003 ; Barber and Langdon, 2007 ; Charman and Hendon, 2000). Hughes *et al.* (2006) suggested that the development of oceanic peatlands has been primarily influenced by oceanic conditions. Hence, in the present study, our ultimate goal was to document the relationship between hydrographic conditions in the ESL and GSL and peatland development along the St. Lawrence North Shore during the

Holocene. The paleoceanographic data presented here show important changes in both the large-scale ocean circulation patterns and the sea-surface conditions related to the regional hydroclimatic regime.

The marine and terrestrial data from the GSL and North Shore area illustrate the complex responses of ecosystems to climate changes driven by global forcings and regional mechanisms related to the end of the glaciation and adjustments of ocean circulation patterns. The coherence of the Holocene marine and terrestrial records strengthen the hypothesis of coastal ombrotrophic peatlands development being intimately related to hydroclimatic conditions at the scale of the ESL and GSL.

Acknowledgement

We would like to thank Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC (RDCPJ 365867-08)) whom, without their support, nothing would have been possible. We also thank Maryse Henry, Taoufik Radi, Nouah Dhahri, Olivia Gibb, Bianca Fréchette and Hans Asnong for their help in their respective field. Finally, thanks to Gabriel Magnan for sharing his knowledge on St. Lawrence North Shore peatlands development.

4.7 References

- Asnong, H. and Richard, P.J. (2003) La végétation et le climat postglaciaires du centre et de l'est de la Gaspésie, au Québec. *Géographie physique et Quaternaire* 57: 37-63.
- Barber, K.E., Chambers, F.M. et Maddy, D. (2003). Holocene palaeoclimates from peat stratigraphy: macrofossil proxy climate records from three oceanic raised bogs in England and Ireland. *Quaternary Science Reviews*, 22(5), 521-539.
- Barber, K.E. et Langdon, P.G. (2007). What drives the peat-based palaeoclimate record? A critical test using multi-proxy climate records from northern Britain. *Quaternary Science Reviews*, 26(25), 3318-3327.
- Barletta, F., St-Onge, G., Stoner, J., Lajeunesse, P., and Locat, J. (2010) A high-resolution Holocene paleomagnetic secular variation and relative paleointensity stack from eastern Canada. *Earth and Planetary Science Letters* 298: 162-174.
- Bennett, K. and Fuller, J. (2002) Determining the age of the mid-Holocene *Tsuga cana densis* (hemlock) decline, eastern North America. *The Holocene* 12: 421-429.
- Bilodeau, G., de Vernal, A. and Hillaire-Marcel, C. (1994) Benthic foraminiferal assemblages in Labrador Sea sediments: relations with deep-water mass changes since deglaciation. *Canadian Journal of Earth Sciences* 31: 128-138.
- Bourgault, D. and Koutitonsky, V.G. (1999) Real-time monitoring of the freshwater discharge at the head of the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean* 37: 203-220.
- Boyle, E. A. (1987) The past 20,000 years linked to high-latitude surface temperature. *Nature* 330: 5.
- Charman, D. J. and Hendon, D. (2000). Long-term changes in soil water tables over the Past 4500 Years: Relationships with climate and north Atlantic atmospheric circulation and sea surface temperature. *Climatic Change*, vol. 47, no 1-2, p. 45-59.
- de Vernal, A., Rochon, A., Fréchette, B., Henry, M., Radi, T. et Solignac, S. (2013). Reconstructing past sea ice cover of the Northern Hemisphere from dinocyst assemblages: status of the approach. *Quaternary Science Reviews*, 79(0), 122-134. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.06.022>
- de Vernal, A., Eynaud, F., Henry, M., Hillaire-Marcel, C., Londeix, L., Mangin, S., Matthiessen, J., Marret, F., Radi, T., Rochon, A., Solignac, S. and Turon, J.-L. (2005) Reconstruction of sea-surface conditions at middle to high latitudes of the Northern Hemisphere during the Last Glacial Maximum (LGM) based on dinoflagellate cyst assemblages. *Quaternary Science Reviews* 24: 897-924.
- de Vernal, A. and Giroux, L. (1991) Distribution of organic-walled microfossils in recent sediments from the Estuary and Gulf of St. Lawrence: some aspects of

- the organic matter fluxes. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 113: 189-199.
- de Vernal, A., Goyette, C. and Rodrigues, CG. (1989) Contribution palynostratigraphique (dinokystes, pollen et spores) à la connaissance de la mer de Champlain: coupe de Saint-Césaire, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences* 26: 2450-2464.
- de Vernal, A., Guiot, J. and Turon, J.-L. (1993) Late and postglacial paleoenvironments of the Gulf of St. Lawrence: Marine and terrestrial palynological evidence. *Géographie physique et Quaternaire* 47: 167-180.
- de Vernal, A., Henry, M. and Bilodeau, G. (1996) Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie. *Les cahiers du GEOTOP* 3: 16-27.
- de Vernal, A. and Hillaire-Marcel, C. (2000) Sea-ice cover, sea-surface salinity and halo-/thermocline structure of the northwest North Atlantic: modern versus full glacial conditions. *Quaternary Science Reviews* 19: 65-85.
- de Vernal, A., St-Onge, G. and Gilbert, D. (2011) Oceanography and Quaternary geology of the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 012004.
- de Vernal, A. and Marret, F. (2007) Organic-walled dinoflagellate cysts: tracers of sea-surface conditions. *Developments in marine geology* 1: 371-408.
- Dhahri, N. (2010) Natural variability of pelagic and benthic conditions in the Gulf of St. Lawrence during the late Holocene. MSc Thesis, Université du Québec à Montréal, Canada.
- Dickie, LM. and Trites, W. (1983) The Gulf of St. Lawrence. In: Ketchum H (ed) *Estuaries and Enclosed Seas*: 403-425.
- Dyke, AS. and Prest, VK. (1987) Late Wisconsinan and Holocene history of the Laurentide ice sheet. *Géographie physique et Quaternaire* 41: 237-263.
- Engstrom, D. and Hansen, B. (1985) Postglacial vegetational change and soil development in southeastern Labrador as inferred from pollen and chemical stratigraphy. *Canadian Journal of Botany* 63: 543-561.
- Faucher, M., Caya, D., Saucier, F. J. and Laprise, R. (2004) Sensitivity of the CRCM atmospheric and the Gulf of St. Lawrence Ocean-Ice models to each other. *Atmosphere-Ocean* 42: 85-100.
- Fontanier, C., Jorissen, F., Licari, L., Alexandre, A., Anschutz, P. and Carbonel, P. (2002) Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research* 1: 751-785.
- Fuller, J. L. (1998) Ecological impact of the mid-Holocene hemlock decline in southern Ontario, Canada. *Ecology* 79: 2337-2351.
- Genovesi, L., de Vernal, A., Thibodeau, B., Hillaire-Marcel, C., Mucci, A. and Gilbert, D. (2011) Recent changes in bottom water oxygenation and temperature in the Gulf of St. Lawrence: Micropaleontological and geochemical evidence. *Limnology and Oceanography* 56: 1319-1329.

- Gilbert, D. and Pettigrew, B. (1997) Interannual variability (1948–1994) of the CIL core temperature in the Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 57–67.
- Gilbert, D., Sundby, B., Gobeil, C., Mucci, A. et Tremblay, G.-H. (2005). A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The northwest Atlantic connection. *Limnology and Oceanography*, 50(5), 1654–1666.
- Guiot, J., Brewer, S. and Gally, Y. (2013) Bioindic: statistic analyses for environmental bioindicators. 4.0.2 ed. Available from <http://www.geotop.ca/fr/congres-et-ateliers/358-atelier-sur-les-reconstitutions-quantitatives.html>: R package.
- Guiot, J. and de Vernal, A. (2007) Transfer functions: methods for quantitative paleoceanography based on microfossils. *Developments in marine geology* 1: 523–563.
- Hélie, J. (2009) Elemental and stable isotopic approaches for studying the organic and inorganic carbon components in natural samples. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 012005.
- Hughes, P.D.M., Blundell, A., Charman, D.J, Barlett, S., Daniell, J.R.G., Wojatschke, A. and Chambers, F.M. (2006) An 8500 cal. year multi-proxy climate record from a bog in eastern Newfoundland: contributions of meltwater discharge and solar forcing. *Quaternary Science Reviews* 25: 1208–1227.
- Jorissen, F.J., Fontanier, C. and Thomas, E. (2007) Paleoceanographical proxies based on deep-sea benthic foraminiferal assemblage characteristics. *Proxies in Late Cenozoic Paleoceanography, Developments in Marine Geology* 1: 263–325.
- Kaiho, K. (1994) Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology* 22: 719–722.
- King, G.A. (1986) *Deglaciation and vegetation history of western Labrador and adjacent Quebec*: University of Minnesota.
- Koutitonsky, V. and Bugden, G. (1991) The physical oceanography of the Gulf of St. Lawrence: a review with emphasis on the synoptic variability of the motion. *The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary* 113: 57–90.
- Lavoie, M. and Filion, L. (2001) Holocene vegetation dynamics of Anticosti Island, Quebec, and consequences of remoteness on ecological succession. *Quaternary Research* 56: 112–127.
- Leduc, J., Bilodeau, G., de Vernal, A. and Mucci, A. (2002) Distribution of benthic foraminiferal populations in surface sediments of the Saguenay Fjord, before and after the 1996 flood. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 180: 207–223.
- Lefort, S., Gratton, Y., Mucci, A., Dadou, I. and Gilbert, D. (2012) Hypoxia in the Lower St. Lawrence Estuary: How physics controls spatial patterns. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012) 117.

- Lemay-Tougas, M. (2014) Changements climatiques le long de la Côte-Nord de l'estuaire et du golfe du Saint-Laurent durant l'Holocène : relation entre les conditions hydrographiques et le développement des tourbières ombrotrophes côtières. MSc Thesis, Université du Québec à Montréal, Canada.
- Magnan, G. and Garneau, M. (2014-A). A comparison of long-term peatland carbon dynamics between two maritime ecoclimatic regions along the St. Lawrence North Shore, eastern Canada. *The Holocene*
- Magnan, G. and Garneau, M. (2014-B) Evaluating long-term regional climate variability in the maritime region of the St. Lawrence North Shore (eastern Canada) using a multi-site comparison of peat-based paleohydrological records. *Journal of Quaternary Science*
- Marcott, S.A., Shakun, J.D., Clark, P.U. and Mix, A.C. (2013) A reconstruction of regional and global temperature for the past 11,300 years. *Science* 339: 1198-1201.
- Marcoux, N. and Richard, P.J. (1995) Végétation et fluctuations climatiques postglaciaires sur la côte septentrionale gaspésienne, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences* 32: 79-96.
- McAndrews, J.H., Berti, A.A. and Norris, G. (1973) *Key to the Quaternary pollen and spores of the Great Lakes region*. Toronto, Life Sciences Miscellaneous Publication, Royal Ontario Museum. 64 pages.
- Milliman, J.D. and Meade, R.H. (1983) World-Wide Delivery of River Sediment to the Oceans. *The Journal of Geology* 91: 1-21.
- Moore, P.D., Webb, J.A. and Collison, M.E. (1991) *Pollen analysis*. Blackwell scientific publications.
- Mott, R. (1976) A Holocene pollen profile from the Sept-Iles area, Québec. *Naturaliste canadien* 103: 457-467.
- Mudie, P. (1982) Pollen distribution in recent marine sediments, eastern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 19: 729-747.
- Muzuka, A.N. and Hillaire-Marcel, C. (1999) Burial rates of organic matter along the eastern Canadian margin and stable isotope constraints on its origin and diagenetic evolution. *Marine Geology* 160: 251-270.
- Potvin, É., Rochon, A. and Lovejoy, C. (2013) Cyst-theca relationship of the arctic dinoflagellate cyst *Islandinium minutum* (Dinophyceae) and phylogenetic position based on SSU rDNA and LSU rDNA. *Journal of Phycology*. 49, 848–866. <http://dx.doi.org/10.1111/jpy.12089>.
- Radi, T. and de Vernal, A. (2008) Dinocysts as proxy of primary productivity in mid-high latitudes of the Northern Hemisphere. *Marine Micropaleontology* 68: 84-114.
- Richard, P.J. (1970) Atlas pollinique des arbres et de quelques arbustes indigènes du Québec. *Naturaliste canadien* 97: 1-34.
- Rochon, A. and de Vernal, A. (1994) Palynomorph distribution in recent sediments from the Labrador Sea. *Canadian Journal of Earth Sciences* 31: 115-127.

- Rochon, A., de Vernal, A., Turon, J.-L., Matthiessen, J. and Head, M.J. (1999) Distribution of recent dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contribution Series* 35: 1-146.
- Rodrigues, C.G., Ceman, J.A. and Vilks, G. (1993) Late Quaternary paleoceanography of deep and intermediate water masses off Gaspé Peninsula, Gulf of St. Lawrence: foraminiferal evidence. *Canadian Journal of Earth Sciences* 30: 1390-1403.
- Rondeau, B., Cossa, D., Gagnon, P. and Bilodeau, L. (2000) Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada. *Hydrological Processes* 14: 21-36.
- Saucier, F.J. and Chassé, J. (2000) Tidal circulation and buoyancy effects in the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean* 38: 505-556.
- Schmidt, G., Bigg, G. and Rohling, E. (1999) Global Seawater Oxygen-18 Database-v1. 21. *Goddard Institute for Space Studies*, < <http://www.giss.nasa.gov/data/o18data> > [Checked 10-07-04].
- Sen Gupta, B.K. and Machain-Castillo, M.L. (1993) Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology* 20: 183-201.
- Shackleton, N. (1974) Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthonic foraminifera genus *Uvigerina*: Isotopic changes in the ocean during the last glacial.
- Stockmarr, J. (1971) Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 16: 616-621.
- Thibodeau, B., de Vernal, A. and Limoges, A. (2013) Low oxygen events in the Laurentian Channel during the Holocene. *Marine Geology* 346: 183-191.
- Wu, X., Simmonds, I. and Budd, W.F. (1997) Modeling of Antarctic Sea Ice in a General Circulation Model. *Journal of Climate* 10: 593-609.

CONCLUSION GÉNÉRALE

Ce projet de recherche se distingue particulièrement par l'étude approfondie du sédiment marin caractérisé par une riche abondance de paléoindicateurs (dinokystes, pollen et spores ainsi que foraminifères benthiques). Les assemblages polliniques, reconstruits à partir d'une quantité importante de pollen et spores (10 000 to 130 000 grains g^{-1} avec un taux d'accumulation d'environ 5 000 grains $\text{cm}^{-2} \text{an}^{-1}$) contenus dans la carotte à l'étude, ont permis de dresser un portrait de l'histoire de la végétation régionale à l'image de ce qui est publié dans la littérature .

Les assemblages de dinokystes ont enregistré les principales transitions caractérisant l'Holocène et ont permis, à l'aide d'une fonction de transfert, de reconstruire fidèlement l'évolution des conditions océaniques de surface. En les comparant avec les conditions hydrographiques, estimées à partir des assemblages des foraminifères benthiques, ce projet de recherche a permis de mettre en évidence un découplage des conditions de surface, influencées par les conditions hydroclimatiques régionales, de celles des eaux profondes, qui elles répondent aux changements de circulation océanique à grande échelle.

En Europe, les changements holocènes perçus dans l'humidité de surface des tourbières ombrotrophes sont généralement interprétés comme une variabilité entre les conditions climatiques froides et/ou humides et chaudes et/ou sèches (Barber et al., 2003 ; Barber et Langdon, 2007 ; Charman et Hendon, 2000). Hughes et al. (2006) ont également suggéré que le développement des tourbières côtières de la région de Terre-Neuve aurait aussi été influencé par la variation des conditions océaniques au cours de l'Holocène. Dans notre étude, l'objectif ultime était de

documenter la relation entre les conditions hydrographiques de l'ESL ainsi que du GSL et la dynamique des tourbières ombrotrophes le long de la Côte-Nord du Saint-Laurent durant l'Holocène. Les données paléocéanographiques reconstituées témoignent des changements à grande échelle, comme les changements de circulation océanique, ainsi qu'à plus petite échelle, comme les changements de conditions océaniques de surface associées aux systèmes hydroclimatiques régionaux.

Les données marines tout comme les données terrestres du GSL et de la région de la Côte-Nord illustrent les réponses complexes aux changements climatiques qui sont générées par des forçages externes ainsi que des mécanismes régionaux liés aux événements postglaciaires et aux ajustements vis-à-vis la circulation océanique. Quoique relatif, le synchronisme durant l'Holocène des données marines et terrestres suggère que le développement et la dynamique des tourbières ombrotrophes en milieu côtier a pu être influencé par les conditions hydroclimatiques à l'échelle de l'ESL et du GSL.

ANNEXE A

DÉNOMBREMENT DES PALYNOMORPHES MARINS ET TERRESTRES AINSI QUE LES FORAMINIFÈRES DANS LA CAROTTE COR0602-42PC

Tableau A.1. : Dénombrement des dinokystes phototrophes dans la carotte COR0602-42PC.....	62
Tableau A.2. : Dénombrement des dinokystes hétérotrophes dans la carotte COR0602-42PC.....	67
Tableau A.3. : Dénombrement des grains de pollen d'arbres dans la carotte COR0602-42PC.....	71
Tableau A.4. : Dénombrement des grains de pollen d'arbustes, d'herbes et de spores dans la carotte COR0602-42PC.....	75
Tableau A.5. : Dénombrement des autres palynomorphes (Réseaux organiques de foraminifères, <i>Halodinium</i> , kystes P) dans la carotte COR0602-42PC.....	79
Tableau A.6. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la fraction entre 150 et 250 µm dans la carotte COR0602-42PC.....	83
Tableau A.7. : Dénombrement des foraminifères benthiques contenus dans la fraction supérieure à 250 µm dans la carotte COR0602-42P.....	88
Tableau A.8. : Dénombrement des foraminifères planctoniques contenus dans la carotte COR0602-42PC	93

A.1. : Dénombrement des dinokystes phototrophes
dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Cyst of Pentaparsodinium dalei</i>	<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i> short process	<i>Spiniferites delicatus</i>	<i>Spiniferites elongatus</i>	<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Spiniferites belerius</i>	<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Spiniferites granulaire</i>	<i>Spiniferites</i> spp
0	106	31	59	0	0	12	3	0	0	0	3
8	81	26	23	0	0	9	8	0	0	1	5
16	67	40	46	0	0	10	9	0	0	0	3
24	47	39	45	0	0	6	4	0	0	0	1
32	50	42	34	0	0	5	12	0	0	0	0
40	44	44	36	0	0	6	4	0	0	0	0
48	49	69	42	0	0	10	7	0	0	0	0
56	46	44	31	0	0	8	4	0	0	0	0
64	57	48	36	0	0	11	5	0	0	0	3
72	26	63	29	0	0	9	4	0	0	0	3
80	52	20	48	1	0	15	6	0	0	0	0
88	61	45	52	1	0	7	18	0	0	0	4
96	51	70	42	2	0	9	20	0	0	0	4
104	33	43	44	0	0	13	15	1	0	0	3
112	41	26	29	0	0	11	10	0	0	0	3
120	86	43	28	0	0	12	9	0	0	0	4
128	55	27	21	1	0	8	4	0	0	0	1
136	47	53	18	1	0	7	3	0	2	0	3
144	52	49	40	0	0	11	5	0	0	0	2
152	62	64	30	0	0	9	9	0	0	0	2
160	55	49	27	0	0	9	11	0	0	0	1

A.1. : Dénombrement des dinokystes phototrophes
dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Cyst of Pentapharsodinium dalei</i>	<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i> short process	<i>Spiniferites delicatus</i>	<i>Spiniferites elongatus</i>	<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Spiniferites belerius</i>	<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Spiniferites granulaire</i>	<i>Spiniferites</i> spp
168	61	48	22	1	0	7	8	0	0	0	0
176	42	36	23	1	0	9	10	0	0	0	3
184	47	42	22	0	0	11	5	0	0	0	2
192	38	75	43	1	0	6	9	0	0	0	1
200	25	76	40	0	0	5	12	0	0	0	6
208	55	73	33	1	0	7	14	0	0	0	0
216	45	87	40	0	0	8	13	0	0	0	1
224	66	67	23	0	0	10	14	0	0	0	0
232	59	62	33	2	0	7	13	0	0	0	3
240	41	54	27	1	0	2	21	0	0	0	0
248	66	49	43	2	0	4	19	0	0	0	4
256	36	67	48	0	0	7	5	0	0	0	1
264	55	67	45	0	0	7	15	0	0	0	5
272	34	78	48	0	2	5	14	0	0	0	8
280	35	54	51	0	0	7	14	0	0	0	2
288	79	49	29	1	0	2	7	0	0	0	1
296	115	43	29	0	0	6	4	0	0	0	1
304	62	51	27	1	0	9	5	0	0	0	2
312	48	39	51	0	0	14	8	0	0	0	2
320	44	41	48	1	0	17	6	0	0	0	2
328	27	46	42	0	0	14	8	0	0	0	0

A.1. : Dénombrement des dinokystes phototrophes
dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Cyst of Pentaparsodinium dalei</i>	<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i> short process	<i>Spiniferites delicatus</i>	<i>Spiniferites elongatus</i>	<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Spiniferites belerius</i>	<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Spiniferites granulaire</i>	<i>Spiniferites</i> spp
336	64	87	40	1	0	17	16	0	0	0	1
344	78	56	36	0	0	11	8	0	0	0	1
352	40	57	42	0	0	18	6	0	0	0	0
360	64	47	28	0	0	12	7	0	0	0	1
368	39	45	20	0	2	11	10	0	0	0	0
376	42	74	30	0	0	12	2	0	0	0	1
384	76	51	23	0	0	6	8	0	0	0	4
392	58	65	37	0	1	28	5	0	0	0	1
400	91	72	37	0	0	19	10	0	0	0	2
408	43	61	33	0	0	15	5	0	0	0	1
416	36	53	46	0	2	27	6	0	0	0	0
424	33	82	35	1	0	25	9	0	0	0	1
432	30	57	29	0	0	17	3	0	0	0	1
440	54	86	48	0	0	39	12	0	0	0	2
448	32	80	39	0	0	16	12	0	0	0	1
456	29	71	58	0	0	22	6	0	0	0	3
464	20	84	56	0	0	14	14	0	0	0	2
472	28	73	56	1	0	22	13	0	0	0	1
480	35	55	44	1	0	9	4	0	0	0	0
488	27	39	46	0	0	23	11	0	0	0	1
496	38	56	31	0	0	9	9	0	0	0	1

A.1. : Dénombrement des dinokystes phototrophes
dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Cyst of Pentapharsodinium dalei</i>	<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i> short process	<i>Spiniferites delicatus</i>	<i>Spiniferites elongatus</i>	<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Spiniferites belerius</i>	<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Spiniferites granulaire</i>	<i>Spiniferites</i> spp
504	28	48	29	0	0	18	13	0	0	0	0
512	32	72	49	0	1	10	8	0	0	0	2
520	25	42	29	0	2	10	7	0	0	0	4
528	56	87	31	0	0	6	4	0	0	0	2
536	27	119	31	0	0	16	15	0	0	0	0
544	13	34	37	1	0	4	0	0	0	0	1
552	11	27	61	0	0	25	8	0	0	0	6
560	12	45	72	0	3	24	0	0	0	0	4
568	14	44	61	0	5	29	2	0	0	0	1
576	7	46	51	0	5	20	0	0	0	0	0
584	11	50	43	0	20	23	13	0	0	0	0
592	11	47	56	0	2	18	4	0	0	0	1
600	10	39	50	0	8	26	0	0	0	0	0
608	26	47	55	0	4	17	0	0	0	0	2
616	20	26	70	0	1	19	0	0	0	0	5
624	5	6	42	0	0	17	2	0	0	0	0
632	32	26	29	0	4	21	3	0	0	0	0
640	50	14	25	0	2	18	2	0	0	0	0
648	73	21	18	0	0	15	2	0	0	0	0
656	62	34	25	0	2	12	1	0	0	0	0
664	50	28	34	0	0	15	1	0	0	0	0

A.1. : Dénombrement des dinokystes phototrophes
dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Cyst of Pentaparsodinium dalei</i>	<i>Nematosphaeropsis labyrinthus</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i>	<i>Operculodinium centrocarpum</i> short process	<i>Spiniferites delicatus</i>	<i>Spiniferites elongatus</i>	<i>Spiniferites ramosus</i>	<i>Spiniferites belerius</i>	<i>Spiniferites mirabilis</i>	<i>Spiniferites granulaire</i>	<i>Spiniferites</i> spp
672	40	26	35	0	2	10	2	0	0	0	0
680	52	79	59	0	0	16	8	0	0	0	0
688	24	38	35	0	1	20	2	0	0	0	0
696	43	33	33	0	0	27	2	0	0	0	0
704	29	21	30	0	0	24	4	0	0	0	0
712	2	11	40	0	0	21	0	0	0	0	0
720	11	41	28	0	0	7	1	0	0	0	0

**A.2. : Dénombrement des dinokystes
hétérotrophes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Ataxiodinium choane</i>	<i>Islandinium minutum</i>	<i>Brigantedinium spp</i>	<i>Brigantedinium simplex</i>	<i>Brigantedinium caracoense</i>	<i>Dubridium spp.</i>	<i>Protoperidinium americanum</i>	<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Polykrikos schwartzii</i>
0	0	72	20	1	0	2	3	14	1
8	0	72	33	2	0	14	0	18	0
16	0	76	15	0	0	18	0	16	0
24	0	51	47	2	0	5	0	7	0
32	0	98	36	1	0	7	5	10	0
40	0	96	36	0	3	9	13	9	0
48	0	82	27	0	0	8	0	16	0
56	0	87	45	0	0	4	27	5	0
64	0	57	26	0	0	12	14	6	0
72	0	90	43	1	0	5	21	9	0
80	0	65	50	1	0	5	34	3	0
88	0	75	32	1	0	11	29	7	0
96	0	58	12	0	0	7	12	13	0
104	0	72	41	0	0	5	19	12	0
112	0	95	25	0	0	0	7	3	0
120	0	83	22	0	0	0	7	6	0
128	0	141	17	0	0	10	5	3	0
136	0	130	16	1	0	9	9	1	0
144	0	94	32	0	0	1	5	3	0
152	0	107	32	1	4	0	6	2	0
160	3	88	35	2	0	10	6	4	0
168	0	101	14	4	0	28	2	2	0
176	1	108	18	3	1	28	14	7	0

**A.2. : Dénombrement des dinokystes
hétérotrophes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Ataxiodinium choane</i>	<i>Islandinium minutum</i>	<i>Brigantedinium spp</i>	<i>Brigantedinium simplex</i>	<i>Brigantedinium caracoense</i>	<i>Dubridium spp.</i>	<i>Protoperidinium americanum</i>	<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Polykrikos schwartzii</i>
184	0	85	32	2	0	14	5	2	0
192	0	74	38	2	0	7	2	4	0
200	0	70	46	0	0	23	1	5	0
208	0	56	42	2	0	12	1	2	0
216	1	42	39	0	0	10	3	7	0
224	0	68	41	1	0	5	0	5	0
232	0	73	36	3	0	2	2	9	0
240	0	104	19	0	0	10	0	16	0
248	0	79	22	1	0	7	0	4	0
256	0	93	28	2	0	6	1	6	0
264	0	70	21	0	0	8	0	7	0
272	0	69	27	3	0	7	1	4	0
280	2	87	36	3	0	3	0	6	0
288	0	52	23	0	0	6	0	9	0
296	1	60	22	0	0	14	0	6	0
304	1	87	38	0	1	15	0	3	0
312	0	91	35	0	0	5	0	7	0
320	0	102	24	1	0	8	0	6	0
328	0	105	45	0	0	7	0	6	0
336	0	30	39	0	0	19	2	7	0
344	0	46	49	0	0	8	13	12	0
352	0	70	36	0	0	11	8	14	0
360	1	88	26	0	0	4	5	17	0

**A.2. : Dénombrement des dinokystes
hétérotrophes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Ataxiodinium choane</i>	<i>Islandinium minutum</i>	<i>Brigantedinium spp</i>	<i>Brigantedinium simplex</i>	<i>Brigantedinium caracoense</i>	<i>Dubridium spp.</i>	<i>Protoperidinium americanum</i>	<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Polykrikos schwartzii</i>
368	1	93	40	0	0	14	9	16	0
376	0	29	29	0	0	13	2	17	0
384	0	41	26	0	0	4	7	17	0
392	0	33	33	1	0	8	8	22	0
400	0	45	31	1	0	9	9	29	0
408	1	36	26	0	0	3	10	28	0
416	0	39	47	3	0	4	11	40	0
424	0	35	28	2	0	9	5	38	0
432	3	55	49	3	0	15	11	38	0
440	2	43	31	0	0	7	6	35	0
448	0	28	40	1	0	7	16	28	0
456	0	37	28	2	0	9	14	28	0
464	1	17	56	3	1	2	8	27	0
472	0	38	28	4	0	3	18	16	0
480	0	58	51	4	1	6	17	18	0
488	1	37	56	7	1	15	7	35	0
496	1	45	47	2	1	20	11	29	0
504	0	37	59	2	2	11	12	43	0
512	0	34	45	0	0	6	5	45	0
520	1	29	67	4	1	16	10	55	0
528	1	21	38	0	1	3	11	45	0
536	0	15	43	0	0	2	0	37	0
544	2	24	110	1	1	11	8	43	0

**A.2. : Dénombrement des dinokystes
hétérotrophes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Ataxiodinium choane</i>	<i>Islandinium minutum</i>	<i>Brigantedinium spp</i>	<i>Brigantedinium simplex</i>	<i>Brigantedinium caracoense</i>	<i>Dubridium spp.</i>	<i>Protoperidinium americanum</i>	<i>Selenopemphix quanta</i>	<i>Polykrikos schwartzii</i>
552	1	11	95	0	0	10	3	43	0
560	1	11	61	1	0	6	3	60	0
568	0	13	46	2	0	14	20	50	0
576	2	17	65	1	0	11	15	61	0
584	1	14	63	3	0	6	16	37	0
592	1	12	74	1	0	12	11	50	0
600	3	15	99	2	0	6	5	41	0
608	0	16	59	1	0	12	13	66	0
616	0	44	53	2	0	5	10	56	0
624	0	39	89	2	0	2	8	90	0
632	0	30	72	9	0	12	14	51	0
640	0	31	53	6	0	14	43	43	0
648	0	31	50	3	0	0	24	63	0
656	0	10	53	4	0	16	35	46	0
664	0	20	61	3	0	6	40	56	0
672	0	48	22	0	0	3	45	73	0
680	0	7	19	0	0	3	17	44	0
688	1	20	70	3	0	5	19	72	0
696	0	9	78	0	0	6	28	78	0
704	1	22	88	1	1	6	13	60	0
712	0	44	114	0	0	5	16	90	0
720	1	36	49	1	0	7	43	75	0

**A.3. : Dénombrement des grains de
pollen d'arbres contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Picea</i>	<i>Pinus</i>	<i>Betula</i>	<i>Abies</i>	<i>Tsuga</i>	<i>Aceraceae</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Juglans</i>	<i>Tilia</i>
0	295	124	57	8	3	5	0	2	0
8	186	74	40	5	1	2	0	0	0
16	129	121	40	1	2	3	0	1	0
24	157	89	83	0	5	5	0	0	0
32	117	81	82	0	5	7	0	0	0
40	115	69	85	6	10	5	4	0	0
48	204	122	44	4	10	1	0	0	0
56	106	124	105	1	6	8	0	1	0
64	118	73	89	3	10	2	0	0	0
72	163	76	45	3	8	7	0	0	0
80	144	105	36	8	2	5	0	0	0
88	131	65	75	1	8	5	0	0	1
96	122	92	52	23	5	4	0	0	0
104	130	103	51	29	6	4	0	0	1
112	124	121	33	18	6	6	0	0	0
120	128	102	42	13	10	5	0	0	0
128	156	70	49	21	8	4	0	0	0
136	124	79	72	11	6	6	0	0	0
144	127	118	58	13	6	4	3	0	0
152	104	137	70	10	7	5	1	0	0
160	135	113	32	19	5	1	0	0	0
168	128	91	53	13	10	6	0	0	0
176	120	100	41	6	8	1	0	0	1
184	202	53	29	24	6	4	0	0	0
192	158	76	50	13	4	5	0	0	0
200	149	80	52	9	5	7	2	0	0

**A.3. : Dénombrement des grains de
pollen d'arbres contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Picea</i>	<i>Pinus</i>	<i>Betula</i>	<i>Abies</i>	<i>Tsuga</i>	<i>Aceraceae</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Juglans</i>	<i>Tilia</i>
208	124	124	36	5	6	7	0	0	0
216	130	129	21	15	4	1	0	0	0
224	136	126	24	14	5	1	0	0	0
232	131	112	47	9	2	3	1	0	0
240	112	76	89	12	3	4	0	0	1
248	268	374	98	21	8	3	0	0	0
256	152	151	82	15	2	5	0	1	0
264	111	116	56	12	1	2	0	0	1
272	100	157	46	9	1	2	0	0	0
280	133	253	73	18	5	8	0	0	0
288	81	189	40	7	1	4	1	0	0
296	137	259	58	20	5	1	0	0	0
304	178	231	46	20	3	3	0	0	0
312	197	359	107	16	5	9	0	0	2
320	203	372	90	19	4	7	0	0	0
328	104	233	95	18	1	4	0	0	1
336	154	194	65	30	4	3	0	1	0
344	172	284	167	30	2	1	0	1	0
352	102	160	81	19	1	4	1	0	0
360	59	133	105	8	1	1	0	0	0
368	91	142	87	8	2	3	0	0	0
376	109	159	88	12	0	8	0	0	0
384	115	186	69	12	5	5	0	0	1
392	95	182	64	19	0	2	0	0	0
400	329	644	160	51	7	6	1	0	3
408	97	169	32	18	1	1	2	0	0

**A.3. : Dénombrement des grains de
pollen d'arbres contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Picea</i>	<i>Pinus</i>	<i>Betula</i>	<i>Abies</i>	<i>Tsuga</i>	<i>Aceraceae</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Juglans</i>	<i>Tilia</i>
416	106	157	42	6	3	4	0	2	0
424	254	397	98	12	4	2	0	0	0
432	77	134	76	11	3	3	1	0	0
440	355	587	384	37	17	4	0	0	1
448	133	260	143	9	11	3	0	2	0
456	137	296	165	1	16	6	1	0	0
464	322	610	193	15	27	7	0	0	0
472	219	454	188	13	17	2	1	1	0
480	416	695	192	4	29	1	0	0	0
488	506	879	292	38	36	4	1	0	1
496	228	454	160	6	20	2	0	0	1
504	212	357	149	11	14	3	1	1	0
512	366	693	185	9	27	5	0	1	0
520	431	762	392	19	23	19	1	0	1
528	262	480	161	2	21	5	1	0	0
536	455	743	111	25	20	6	0	0	0
544	369	733	163	40	38	4	0	0	0
552	258	592	84	13	13	1	0	0	0
560	224	551	83	24	10	7	0	0	0
568	143	365	110	13	12	2	1	2	0
576	187	379	77	10	16	3	0	0	0
584	171	429	85	18	10	3	1	0	0
592	173	301	85	20	7	1	0	0	1
600	271	575	139	25	19	7	0	1	0
608	172	346	86	11	9	3	0	1	0
616	115	267	58	8	4	0	0	1	0

**A.3. : Dénombrement des grains de
pollen d'arbres contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	<i>Picea</i>	<i>Pinus</i>	<i>Betula</i>	<i>Abies</i>	<i>Tsuga</i>	<i>Aceraceae</i>	<i>Carpinus</i>	<i>Juglans</i>	<i>Tilia</i>
624	199	435	88	38	4	2	0	0	0
632	228	516	100	38	5	2	0	0	1
640	71	223	109	8	5	3	0	0	0
648	82	179	113	2	0	0	0	0	0
656	54	142	95	8	2	1	0	0	0
664	53	139	92	8	1	1	0	0	0
672	32	144	119	0	0	3	0	0	1
680	37	172	81	0	0	2	0	0	0
688	46	227	83	16	4	5	0	0	0
696	86	369	114	8	4	2	0	0	0
704	65	221	40	10	0	2	0	0	1
712	26	292	67	15	4	1	0	1	0
720	46	231	52	2	1	1	0	0	0

**A.4. : Dénombrement des grains de pollen d'arbustes, d'herbes
et de spores contenus dans la carotte COR0602-42PC**

Arbustes et herbes							Spores					
Profondeur (cm)	<i>Alnus crispa</i>	<i>Salix</i>	<i>Alnus spp.</i>	Type <i>Ambrosia</i>	<i>Artemisia</i>	Chenopodiaceae	<i>Lycopodium clavatum</i>	<i>Lycopodium annotinum</i>	Monolète	Trilète	<i>Sphagnum</i>	<i>Hyperzia type selago</i>
0	19	0	0	13	1	0	0	6	4	1	6	0
8	14	7	0	6	8	0	0	9	3	5	2	0
16	13	5	0	0	3	0	0	1	0	6	2	0
24	18	17	0	0	0	0	0	3	2	4	2	0
32	19	13	0	0	0	3	0	7	1	15	2	0
40	23	23	1	0	0	1	2	0	7	5	7	0
48	5	12	5	0	0	1	0	3	2	4	4	0
56	12	8	0	0	4	5	0	5	1	5	2	0
64	9	2	0	0	1	0	2	0	2	2	5	0
72	4	3	1	0	0	0	0	5	2	1	2	0
80	3	5	0	0	0	0	0	4	2	9	1	2
88	6	12	0	0	0	1	3	0	4	8	2	1
96	8	8	0	0	0	0	1	0	3	7	0	0
104	3	1	0	0	0	0	2	0	2	6	0	1
112	2	6	0	0	0	1	2	0	4	6	0	0
120	7	4	0	0	0	0	3	0	4	2	0	0
128	4	5	0	0	0	1	4	0	2	6	0	0
136	5	4	0	0	0	2	3	0	3	7	0	2
144	9	5	0	0	0	0	4	0	1	0	3	0
152	6	6	0	0	0	2	8	0	7	4	3	1
160	6	5	0	0	1	0	3	0	5	0	1	0
168	5	3	0	0	0	0	4	1	4	2	1	1
176	7	2	0	0	2	1	8	0	2	5	11	0
184	3	3	0	0	0	0	2	0	2	2	3	0
192	2	3	0	0	0	0	1	0	6	1	0	1

**A.4. : Dénombrement des grains de pollen d'arbustes, d'herbes
et de spores contenus dans la carotte COR0602-42PC**

Arbustes et herbes							Spores					
Profondeur (cm)	<i>Alnus crispa</i>	<i>Salix</i>	<i>Alnus spp.</i>	Type <i>Ambrosia</i>	<i>Artemisia</i>	Chenopodiaceae	<i>Lycopodium clavatum</i>	<i>Lycopodium annotinum</i>	Monolète	Trilète	<i>Sphagnum</i>	<i>Hyperzia</i> type <i>selago</i>
200	8	2	0	0	0	1	3	0	3	0	3	2
208	0	3	0	0	1	1	2	0	6	2	2	1
216	3	2	0	0	0	0	2	0	2	1	0	2
224	1	3	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0
232	2	11	0	0	0	0	1	2	2	3	2	2
240	6	9	0	0	0	1	1	1	7	1	9	1
248	2	10	0	0	1	2	4	1	5	2	9	1
256	4	13	0	0	1	0	6	2	3	6	6	0
264	5	5	0	0	1	1	0	2	7	2	5	1
272	3	5	0	0	0	0	2	0	3	1	2	0
280	4	12	0	0	0	0	0	4	7	3	4	1
288	3	6	0	0	0	1	1	2	2	2	4	0
296	2	5	0	0	0	0	3	5	6	1	3	0
304	5	6	0	0	0	0	4	1	5	2	2	1
312	11	5	0	0	1	1	10	5	12	8	8	4
320	8	3	0	0	0	0	3	3	5	0	5	1
328	4	8	0	0	1	2	4	2	10	2	5	1
336	4	6	0	0	1	2	2	4	3	3	6	0
344	8	9	0	0	1	0	3	1	5	5	7	2
352	9	5	0	0	0	0	1	1	10	4	2	2
360	4	4	0	0	0	0	0	3	10	4	8	0
368	9	3	0	0	0	0	2	1	7	4	2	3
376	8	1	0	0	0	2	1	1	10	2	3	4
384	7	4	0	0	1	0	1	3	5	3	11	0
392	8	2	0	0	0	1	1	4	4	2	4	0

**A.4. : Dénombrement des grains de pollen d'arbustes, d'herbes
et de spores contenus dans la carotte COR0602-42PC**

Arbustes et herbes							Spores					
Profondeur (cm)	<i>Alnus crispa</i>	<i>Salix</i>	<i>Alnus</i> spp.	Type <i>Ambrosia</i>	<i>Artemisia</i>	Chenopodiaceae	<i>Lycopodium clavatum</i>	<i>Lycopodium annotinum</i>	Monolète	Trilète	<i>Sphagnum</i>	<i>Hyperzia</i> type <i>selago</i>
400	16	9	0	0	0	0	2	3	16	4	6	1
408	2	2	0	0	0	0	0	0	2	0	1	0
416	6	3	0	0	1	0	3	3	1	1	3	0
424	5	3	0	0	1	0	1	7	3	1	5	0
432	5	3	0	0	0	2	2	3	3	0	4	2
440	14	10	0	0	0	2	6	6	9	3	6	0
448	7	8	0	0	0	1	1	2	8	2	4	0
456	7	5	0	0	3	1	1	2	4	2	6	0
464	12	7	0	0	1	3	3	3	7	5	3	3
472	7	9	0	0	2	1	2	2	6	7	7	2
480	8	6	0	0	0	1	0	7	8	5	9	2
488	27	7	0	0	1	3	7	7	11	3	5	3
496	7	4	0	0	1	2	8	7	14	7	4	2
504	7	6	0	0	1	1	2	3	7	3	8	0
512	13	6	0	0	0	1	2	4	16	1	7	2
520	29	19	0	0	0	2	4	9	17	6	13	3
528	13	14	0	0	0	7	2	1	14	0	9	0
536	6	3	0	0	2	0	1	8	7	3	6	2
544	12	10	0	0	0	2	4	8	9	4	10	2
552	5	3	0	0	0	0	3	6	6	2	6	1
560	4	7	0	0	0	1	2	7	14	0	7	1
568	1	5	0	0	0	1	0	4	2	1	4	3
576	14	5	0	0	0	1	3	5	5	2	4	0
584	9	5	0	0	0	2	2	1	5	2	2	0
592	4	6	0	0	1	1	1	12	8	0	3	0

**A.4. : Dénombrement des grains de pollen d'arbustes, d'herbes
et de spores contenus dans la carotte COR0602-42PC**

Arbustes et herbes							Spores					
Profondeur (cm)	<i>Alnus crispa</i>	<i>Salix</i>	<i>Alnus</i> spp.	Type <i>Ambrosia</i>	<i>Artemisia</i>	Chenopodiaceae	<i>Lycopodium clavatum</i>	<i>Lycopodium annotinum</i>	Monolète	Trilète	<i>Sphagnum</i>	<i>Hyperzia</i> type <i>selago</i>
600	11	5	0	0	0	3	5	7	9	3	8	0
608	4	6	0	0	1	1	3	4	6	1	4	2
616	5	8	0	0	0	1	2	4	3	3	2	0
624	5	5	0	0	1	2	2	5	7	1	5	0
632	10	6	0	0	1	2	4	8	6	0	2	0
640	8	8	0	0	1	0	2	3	5	3	5	0
648	9	4	0	0	0	1	2	6	3	1	4	0
656	4	3	0	0	1	3	4	8	3	0	3	0
664	8	1	0	0	0	1	1	6	3	2	3	0
672	11	4	0	0	3	2	2	11	7	0	3	0
680	6	1	0	0	0	1	3	4	7	0	3	0
688	14	5	0	0	1	2	1	8	7	0	3	0
696	8	4	0	0	1	3	4	10	3	0	7	0
704	1	1	0	0	1	1	4	8	9	0	2	0
712	5	5	0	0	2	0	3	15	11	1	6	0
720	8	1	0	0	0	1	0	15	4	1	3	0

**A.5. : Dénombrement des autres
palynomorphes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Réseaux organiques	<i>Halodinium</i>	Kyste P
0	23	0	0
8	24	0	0
16	20	0	0
24	19	0	0
32	24	0	0
40	23	0	0
48	26	0	0
56	52	0	0
64	31	0	1
72	39	0	0
80	33	0	0
88	26	0	0
96	22	0	0
104	16	0	0
112	20	0	0
120	15	0	0
128	19	0	0
136	26	0	0
144	15	0	0
152	41	0	0
160	15	0	0
168	25	0	0
176	31	0	0
184	12	0	0

**A.5. : Dénombrement des autres
palynomorphes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Réseaux organiques	<i>Halodinium</i>	Kyste P
192	13	0	0
200	15	0	0
208	10	0	0
216	12	0	0
224	7	0	0
232	9	0	0
240	22	0	0
248	26	0	0
256	17	0	0
264	13	0	0
272	10	0	0
280	14	0	0
288	5	0	0
296	14	0	0
304	20	0	0
312	31	0	0
320	21	0	0
328	17	0	0
336	25	0	0
344	24	0	0
352	14	0	0
360	34	0	0
368	36	0	0
376	25	0	0
384	25	0	0

**A.5. : Dénombrement des autres
palynomorphes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Réseaux organiques	<i>Halodinium</i>	Kyste P
392	14	0	0
400	56	0	0
408	23	0	0
416	15	0	0
424	36	0	0
432	25	0	0
440	56	0	0
448	34	0	0
456	28	0	0
464	26	0	0
472	39	0	0
480	14	0	0
488	41	0	0
496	29	0	0
504	19	0	0
512	20	0	0
520	49	0	0
528	24	0	0
536	12	0	0
544	47	0	1
552	19	0	1
560	10	0	1
568	27	0	11
576	20	0	2
584	20	0	4

**A.5. : Dénombrement des autres
palynomorphes contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Réseaux organiques	<i>Halodinium</i>	Kyste P
592	8	0	2
600	11	0	3
608	21	0	1
616	18	0	2
624	8	0	2
632	25	0	1
640	7	0	0
648	4	0	0
656	10	0	0
664	12	0	1
672	6	0	1
680	0	0	0
688	6	0	0
696	10	0	0
704	8	0	0
712	20	0	1
720	11	0	0

A.6. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la carotte COR0602-42PC

Fraction comprise entre 150 à 250 µm

Profondeur (cm)	<i>Bulimina marginata</i>	<i>Islandiella nocrissi</i>	<i>Brizalina subaenariensis</i>	<i>Nonionellina labradorica</i>	<i>Bulimina exilis</i>	<i>Globobulimina auriculata</i>	<i>Elphidium excavatum</i>	<i>Lagena</i> spp.	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Uvigerine</i> spp.	<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Cibicides lobatus</i>	<i>Glandulina</i> spp.	<i>Oolina hexagona</i>	<i>Triloculina trihedra</i>	<i>Pyrgo williamsoni</i>
168	30	8	0	9	13	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
176	19	11	0	4	4	7	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
184	6	8	0	2	3	4	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
192	3	12	0	2	1	3	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	6	9	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	5	13	1	2	11	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
216	5	7	0	2	13	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
224	26	7	0	9	8	5	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
232	71	26	0	6	4	2	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
240	42	19	0	6	3	3	5	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
248	37	8	0	10	2	2	4	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
256	65	26	0	15	0	0	16	3	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
264	109	68	0	18	9	3	14	0	4	0	0	1	0	0	0	0	0	0
272	50	39	0	9	10	6	0	2	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0
280	26	13	0	1	12	5	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	0
288	47	6	0	1	26	1	2	2	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0
296	30	2	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
304	18	1	0	0	35	2	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
312	23	0	0	1	20	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
320	15	0	0	0	20	1	2	2	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0
328	20	2	0	2	29	1	0	0	0	0	0	1	2	0	0	0	0	0

A.6. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la
carotte COR0602-42PC

Fraction comprise entre 150 à 250 µm

Profondeur (cm)	<i>Bulimina marginata</i>	<i>Islandiella nocrassi</i>	<i>Brizalina subaenariensis</i>	<i>Nonionellina labradorica</i>	<i>Bulimina exilis</i>	<i>Globobulimina auriculata</i>	<i>Elphidium excavatum</i>	<i>Lagena</i> spp.	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Uvigerine</i> spp.	<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Cibicides lobatus</i>	<i>Glandulina</i> spp.	<i>Oolina hexagona</i>	<i>Triloculina trihedra</i>	<i>Pyrgo williamsoni</i>
336	34	3	0	1	23	3	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	0	0
344	36	0	0	0	9	1	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
352	14	0	0	0	11	0	0	4	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
360	6	1	0	2	17	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
368	2	0	0	1	22	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
376	3	0	0	6	24	3	0	2	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
384	3	0	0	3	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
392	5	1	0	1	18	0	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
400	4	0	0	0	4	2	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
408	9	2	0	0	7	2	1	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
416	27	1	0	2	20	0	0	1	2	0	0	6	0	0	0	0	0	0
424	74	3	0	0	21	0	0	2	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0
432	50	1	0	3	28	1	0	3	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0
440	57	7	0	7	15	3	1	2	0	0	0	5	0	1	0	0	0	0
448	46	5	0	7	10	2	0	3	0	0	0	8	0	0	2	0	0	0
456	80	23	0	14	20	2	3	0	1	0	0	15	3	0	2	0	0	0
464	26	10	0	4	11	2	0	0	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
472	40	1	0	1	8	2	0	2	0	0	0	5	1	0	0	0	0	1
480	24	2	0	3	11	0	0	1	0	0	0	8	1	0	0	0	0	0
488	27	0	0	1	11	1	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	0	3
496	37	0	0	0	12	1	0	2	1	0	0	3	0	0	0	0	0	0

A.6. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la carotte COR0602-42PC

Fraction comprise entre 150 à 250 µm

Profondeur (cm)	<i>Bulimina marginata</i>	<i>Islandiella nocrassi</i>	<i>Brizalina subaenariensis</i>	<i>Nonionellina labradorica</i>	<i>Bulimina exilis</i>	<i>Globobulimina auriculata</i>	<i>Elphidium excavatum</i>	<i>Lagena</i> spp.	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Uvigerine</i> spp.	<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Oridorsalis umbonatus</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Cibicides lobatus</i>	<i>Glandulina</i> spp.	<i>Oolina hexagona</i>	<i>Triloculina trihedra</i>	<i>Pyrgo williamsoni</i>
672	4	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
680	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
688	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
696	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0	2
704	0	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
712	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1
720	0	1	0	0	0	1	1	0	2	0	0	0	0	1	0	0	0	0

**A.7. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la
carotte COR0602-42PC**

Fraction supérieure à 250 µm

Profondeur (cm)	<i>Globobulimina auriculata</i>	<i>Nonionellina labradorica</i>	<i>Bulimina marginata</i>	<i>Brizalina subaenariensis</i>	<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Elphidium excavatum</i>	<i>Islandiella nocrossi</i>	<i>Dentalna spp.</i>	<i>Bulimina exilis</i>	<i>Nodosaria spp.</i>	<i>Lagena spp.</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Uvigerine spp.</i>	<i>Glandulina spp.</i>	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Pyrgo williamsoni</i>
168	17	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
176	19	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
184	23	1	2	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0
192	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
200	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
208	8	1	1	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
216	5	2	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
224	20	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
232	20	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
240	22	6	2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
248	12	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
256	16	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
264	31	4	5	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
272	34	15	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
280	9	2	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
288	10	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
296	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
304	2	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
312	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
320	4	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
328	6	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0

**A.7. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la
carotte COR0602-42PC**

Fraction supérieure à 250 µm

Profondeur (cm)	<i>Globobulimina auriculata</i>	<i>Nonionellina labradorica</i>	<i>Bulimina marginata</i>	<i>Brizalina subaenariensis</i>	<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Elphidium excavatum</i>	<i>Islandiella nocrossi</i>	<i>Dentalna spp.</i>	<i>Bulimina exilis</i>	<i>Nodosaria spp.</i>	<i>Lagena spp.</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Uvigerine spp.</i>	<i>Glandulina spp.</i>	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Pyrgo williamsoni</i>
336	3	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
344	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
352	3	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
360	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
368	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
376	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0
384	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
392	10	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
400	4	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0
408	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
416	8	3	0	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	0	0	0
424	3	1	15	0	0	0	0	0	5	0	0	2	0	0	0	0
432	6	2	6	0	0	0	0	0	3	0	0	1	0	2	0	0
440	13	4	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
448	9	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
456	14	8	4	0	0	0	0	0	0	0	1	3	0	3	0	0
464	1	4	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
472	11	1	4	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	1	1	0
480	7	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0
488	4	0	4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	2
496	6	1	11	0	0	0	1	0	8	0	1	2	0	1	0	0

**A.7. : Dénombrement des foraminifères benthiques calcaires contenus dans la
carotte COR0602-42PC**

Fraction supérieure à 250 µm

Profondeur (cm)	<i>Globobulimina auriculata</i>	<i>Nonionellina labradorica</i>	<i>Bulimina marginata</i>	<i>Brizalina subaenariensis</i>	<i>Globocassidulina subglobosa</i>	<i>Elphidium excavatum</i>	<i>Islandiella nocrissi</i>	<i>Dentalna spp.</i>	<i>Bulimina exilis</i>	<i>Nodosaria spp.</i>	<i>Lagena spp.</i>	<i>Quinqueloculina seminula</i>	<i>Uvigerine spp.</i>	<i>Glandulina spp.</i>	<i>Cassidulina reniforme</i>	<i>Pyrgo williamsoni</i>
672	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
680	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
688	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
696	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
704	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0
712	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0
720	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0

**A.8. : Dénombrement des foraminifères
planctoniques contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeurs (cm)	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma dextrogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre (> 250µm)</i>
0	3	0	0
8	1	0	0
16	12	0	0
24	12	0	0
32	7	0	0
40	36	0	0
48	13	0	0
56	4	0	0
64	4	0	0
72	13	0	1
80	33	0	1
88	18	0	2
96	9	0	1
104	1	0	0
112	7	0	0
120	18	0	0
128	6	0	0
136	24	0	0
144	16	0	0
152	39	0	0
160	12	0	0
168	7	0	0
176	8	0	0
184	14	0	0

**A.8. : Dénombrement des foraminifères
planctoniques contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeurs (cm)	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma dextrogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre (> 250µm)</i>
192	10	0	0
200	8	0	0
208	15	0	0
216	26	0	1
224	51	0	0
232	43	0	0
240	87	0	0
248	29	0	0
256	44	0	1
264	51	0	0
272	46	0	0
280	20	0	0
288	32	0	0
296	16	0	0
304	14	1	0
312	8	1	0
320	7	0	0
328	10	0	0
336	18	1	0
344	7	0	0
352	5	1	0
360	2	1	0
368	5	0	0
376	20	0	0

**A.8. : Dénombrement des foraminifères
planctoniques contenus dans la carotte
COR0602-42PC**

Profondeurs (cm)	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma dextrogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre (> 250µm)</i>
384	12	0	0
392	24	1	0
400	12	0	3
408	23	0	1
416	17	1	0
424	9	0	0
432	11	0	0
440	22	0	0
448	6	0	0
456	14	0	0
464	11	0	0
472	8	0	0
480	8	0	0
488	5	0	0
496	7	0	1
504	19	0	0
512	40	0	0
520	17	0	0
528	30	1	0
536	25	2	0
544	17	0	0
552	44	0	0
560	29	1	0
568	39	0	0

**A.8. : Dénombrement des foraminifères
planctoniques contenus dans la carotte**

COR0602-42PC

Profondeurs (cm)	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma dextrogyre</i>	<i>Neogloboquadrina pachyderma levogyre (> 250µm)</i>
576	53	0	0
584	32	0	0
592	46	0	0
600	35	1	0
608	44	2	0
616	52	0	0
624	28	0	0
632	20	1	1
640	13	0	1
648	26	2	0
656	29	0	0
664	40	0	2
672	28	0	0
680	36	1	0
688	22	0	2
696	18	0	0
704	6	0	1
712	9	0	3
720	16	1	1

ANNEXE B

RÉSULTATS DES ANALYSES GÉOCHIMIQUES ET ISTOPIQUES DANS LA CAROTTE COR0602-42PC

Tableau B.1. : Résultat d'analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) dans les tests carbonatés du foraminifère benthique *Bulimina marginata* dans la carotte COR0602-42PC.....98

Tableau B.2. : Résultat d'analyses géochimiques du contenu en carbone et en azote du sédiment ($\%C_{\text{org}}$, C_{org}/N , $\delta^{13}\text{C}$) dans la carotte COR0602-42PC.....102

B.1 . : Résultat d'analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) dans les tests carbonatés du foraminifère benthique *Bulimina marginata* dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ V-PDB (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ V-PDB (‰)
0	-0.01	2.79
8	0.03	2.91
16	0.07	3.1
24	0.18	3.05
32	0.19	3.09
40	0.28	3.08
48	0.27	3.23
56	0.23	3.14
64	0.05	3.05
72	0.31	3.02
80	0.17	2.93
88	0.14	2.98
96	no data	no data
104	0.03	2.93
112	0.13	2.93
120	0.2	2.94
128	0.25	2.92
136	0.24	3.04
144	0.15	3.1
152	0.36	2.96
160	0.15	3.1
168	0.12	2.95
176	0.25	2.99
184	no data	no data

B.1 . : Résultat d'analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) dans les tests carbonatés du foraminifère benthique *Bulimina marginata* dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ V-PDB (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ V-PDB (‰)
192	no data	no data
200	no data	no data
208	no data	no data
216	no data	no data
224	0.24	2.92
232	0.18	2.86
240	0.25	2.99
248	0.39	3.12
256	0.16	2.89
264	0.21	2.92
272	no data	no data
280	0.16	2.91
288	0.31	2.91
296	0.28	2.91
304	0.12	2.96
312	0.07	2.96
320	0.09	2.92
328	0.19	2.82
336	0.2	2.93
344	0.33	2.97
352	0.14	2.87
360	no data	no data
368	no data	no data
376	no data	no data

B.1 . : Résultat d'analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) dans les tests carbonatés du foraminifère benthique *Bulimina marginata* dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ V-PDB (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ V-PDB (‰)
384	no data	no data
392	no data	no data
400	no data	no data
408	0.13	2.83
416	0.15	2.84
424	0.08	2.82
432	0.28	3
440	0.11	2.72
448	0.22	3.25
456	-0.05	2.54
464	0.22	3.09
472	0.16	2.6
480	no data	no data
488	0.02	2.59
496	no data	no data
504	0.23	2.96
512	0.13	3.03
520	0.1	2.84
528	0.14	2.94
536	no data	no data
544	no data	no data
552	no data	no data
560	no data	no data
568	no data	no data

B.1 . : Résultat d'analyses isotopiques ($\delta^{13}\text{C}$ et $\delta^{18}\text{O}$) dans les tests carbonatés du foraminifère benthique *Bulimina marginata* dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	$\delta^{13}\text{C}$ V-PDB (‰)	$\delta^{18}\text{O}$ V-PDB (‰)
576	no data	no data
584	no data	no data
592	no data	no data
600	no data	no data
608	no data	no data
616	no data	no data
624	no data	no data
632	no data	no data
640	no data	no data
648	no data	no data
656	no data	no data
664	no data	no data
672	no data	no data
680	no data	no data
688	no data	no data
696	no data	no data
704	no data	no data
712	no data	no data
720	no data	no data

B.2. : Résultat d'analyses géochimiques du
contenu en carbone et en azote du sédiment
(%C_{org}, C_{org}/N, $\delta^{13}\text{C}$) dans la carotte COR0602-
42PC

Profondeur (cm)	C _{org} (%)	C _{org} /N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ V-PDB (‰)
0	1.17	8.182725009	-22.7
8	1.15	8.078753993	-22.7
16	1.15	6.175089608	-22.5
24	1.07	8.016233035	-22.4
32	1.09	7.924938019	-22.4
40	1.19	8.068861445	-22.2
48	1.10	8.375912863	-22.5
56	1.14	8.634446522	-22.7
64	1.16	8.426461432	-22.4
72	1.13	8.624219577	-22.4
80	1.14	8.596271459	-22.4
88	1.14	8.991144047	-22.6
96	1.08	8.773379936	-22.8
104	1.11	8.702095425	-22.9
112	1.08	8.800487488	-23.1
120	1.10	9.018281451	-22.9
128	1.13	8.784431539	-22.9
136	1.09	8.645185143	-23.0
144	1.10	9.034856076	-22.9
152	1.00	8.591102089	-23.1
160	1.01	8.569103472	no data
168	0.99	8.625066808	-23.0
176	1.06	8.906106757	-23.3
184	1.01	8.537088962	-22.9
192	0.96	8.605985761	-22.9

B.2. : Résultat d'analyses géochimiques du
contenu en carbone et en azote du sédiment
(%C_{org}, C_{org}/N, $\delta^{13}\text{C}$) dans la carotte COR0602-
42PC

Profondeur (cm)	C _{org} (%)	C _{org} /N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ V-PDB (‰)
200	0.99	8.639344447	-23.0
208	0.92	7.916784155	-22.7
216	0.94	8.147586245	-22.6
224	0.94	8.421919027	-22.9
232	0.91	8.307363773	-22.8
240	0.92	8.364883051	-23.0
248	0.98	8.735549691	-23.2
256	0.94	8.355656082	-23.0
264	0.90	8.492211545	-23.1
272	0.91	8.342368931	-22.8
280	0.94	8.214400906	-22.9
288	0.93	8.315863547	-23.0
296	0.92	8.346870319	-23.0
304	0.91	8.204495166	-23.0
312	0.95	8.466434709	-22.7
320	0.89	8.379107985	-22.8
328	0.90	8.244737119	-22.9
336	0.99	9.080347604	-23.1
344	0.89	8.401581892	-22.9
352	0.91	8.304263417	-22.9
360	0.94	8.254607143	-23.2
368	0.90	8.23185258	-23.6
376	0.85	8.346064512	-24.7
384	0.87	8.572529378	-23.1
392	0.89	8.900809432	-23.2

B.2. : Résultat d'analyses géochimiques du
contenu en carbone et en azote du sédiment
(%C_{org}, C_{org}/N, $\delta^{13}\text{C}$) dans la carotte COR0602-
42PC

Profondeur (cm)	C _{org} (%)	C _{org} /N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ V-PDB (‰)
400	0.85	8.420344491	-23.2
408	0.84	8.089773941	-23.1
416	0.84	8.200556097	-23.0
424	0.85	8.431305213	-22.9
432	0.81	7.806736306	-22.9
440	0.85	8.230647781	-22.8
448	0.89	8.418893711	-23.0
456	0.74	7.835418717	-22.9
464	0.86	9.077506506	-23.1
472	0.84	8.498276902	-23.2
480	0.69	7.824738329	-23.1
488	0.61	7.594757955	-23.1
496	0.77	8.881056197	-23.0
504	0.67	6.835083744	-22.9
512	0.81	7.873807265	-23.0
520	0.76	8.247660178	-23.0
528	0.72	7.998204088	-23.1
536	0.71	7.975699613	-23.0
544	0.69	7.935098169	-22.9
552	0.69	7.750632916	-22.9
560	0.67	7.858682039	-23.0
568	0.69	7.894131938	-22.9
576	0.66	8.029192965	-23.2
584	0.62	7.71824856	-23.1
592	0.66	7.901873041	-23.1

B.2. : Résultat d'analyses géochimiques du
contenu en carbone et en azote du sédiment
(%C_{org}, C_{org}/N, $\delta^{13}\text{C}$) dans la carotte COR0602-
42PC

Profondeur (cm)	C _{org} (%)	C _{org} /N	$\delta^{13}\text{C}_{\text{org}}$ V-PDB (‰)
600	0.58	8.291083899	-23.0
608	0.61	8.315681906	-22.4
616	0.57	7.594641529	-22.8
624	0.51	7.496603211	-22.8
632	0.49	8.006663391	-23.0
640	0.40	7.573416996	-22.8
648	0.44	8.129764959	-23.0
656	0.37	7.539564582	-23.2
664	0.35	7.463227332	-22.7
672	0.36	7.694287865	-22.7
680	0.34	4.156996002	-22.2
688	0.33	7.176131076	-22.5
696	0.30	7.169908006	-21.9
704	0.27	6.127230667	-22.1
712	0.29	6.964313243	-21.9
720	0.27	6.526412908	-21.9

ANNEXE C

RÉSULTATS DES ANALYSES STATISTIQUES : CONCENTRATIONS ET RÉSULTATS DE LA RECONSTRUCTION PALÉOCLIMATIQUE

Tableau C.1. : Concentrations du pollen et des spores, des dinokystes, des réseaux organiques, des foraminifères benthiques ainsi que le rapport hétérotrophes/autotrophes dans la carotte COR0602-42PC107

Tableau C.2. : Valeur de reconstruction de la température en été, la salinité en été, la durée du couvert de glace ainsi que la productivité dans la carotte COR0602-42PC.....111

C.1. : Concentrations du pollen et des spores, des dinokystes, des réseaux organiques, des foraminifères benthiques ainsi que le rapport hétérotrophes/autotrophes dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Grains de pollen et de spores g ⁻¹	Spores de sphaignes g ⁻¹	<i>Halodinium</i> g ⁻¹	Dinokystes g ⁻¹	Dinokystes : pollen	Réseaux organiques g ⁻¹	Tests de foraminifères benthiques g ⁻¹	Réseaux organiques : foraminifères	Hétérotrophe : phototrophe
0	44322.91	483.52	725.28	12671.99	0.29	1853.50	55.72	33.27	0.53
8	36521.92	201.78	403.56	7008.99	0.19	2421.34	24.32	99.55	0.91
16	33047.53	200.90	1406.28	10309.18	0.31	2008.97	23.61	85.09	0.71
24	28015.14	145.53	291.07	5632.31	0.20	1382.57	23.80	58.10	0.79
32	21139.22	120.11	300.27	5725.55	0.27	1441.31	22.78	63.26	1.1
40	28983.66	557.38	716.63	6507.59	0.22	1831.39	19.68	93.08	1.24
48	57071.26	542.24	0.00	8721.96	0.15	3524.59	22.07	159.72	0.75
56	27530.74	139.75	139.75	4046.50	0.15	3633.50	30.07	120.82	1.26
64	35943.38	565.15	452.12	5768.00	0.16	3503.91	17.08	205.15	0.72
72	36975.23	231.10	346.64	6940.49	0.19	4506.36	13.43	335.53	1.26
80	62108.20	189.35	946.77	7615.33	0.12	6248.69	19.60	318.73	1.11
88	69532.46	429.21	1716.85	9445.53	0.14	5579.77	22.77	245.01	0.82
96	43623.33	0.00	939.58	9132.88	0.21	2952.96	34.64	85.24	0.52
104	69330.39	0.00	1636.12	6117.65	0.09	3272.23	19.02	172.06	0.98
112	47605.86	0.00	578.79	4572.64	0.10	2893.97	30.48	94.93	1.08
120	39213.02	0.00	1102.87	7708.20	0.20	1838.11	18.17	101.14	0.65
128	58874.71	0.00	1605.67	4274.71	0.07	3389.76	26.55	127.70	1.5
136	49884.93	0.00	1231.73	5286.78	0.11	4003.11	27.71	144.49	1.24
144	73243.82	626.02	417.34	8724.01	0.12	3130.08	26.80	116.78	0.85
152	21664.86	174.72	524.15	4239.79	0.20	2387.79	58.18	41.04	0.86
160	48892.29	149.98	1049.83	3824.40	0.08	2249.65	17.29	130.13	0.94
168	44843.95	139.27	974.87	5100.75	0.11	3481.67	28.69	121.36	1.03
176	28460.54	993.86	813.16	3932.32	0.14	2800.88	24.07	116.38	1.43

C.1. : Concentrations du pollen et des spores, des dinokystes, des réseaux organiques, des foraminifères benthiques ainsi que le rapport hétérotrophes/autotrophes dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Grains de pollen et de spores g ⁻¹	Spores de sphaignes g ⁻¹	<i>Halodinium</i> g ⁻¹	Dinokystes g ⁻¹	Dinokystes : pollen	Réseaux organiques g ⁻¹	Tests de foraminifères benthiques g ⁻¹	Réseaux organiques : foraminifères	Hétérotrophe : phototrophe
184	143320.60	1291.18	1721.57	4466.12	0.03	5164.71	17.46	295.75	1.09
192	56235.17	0.00	878.67	2715.90	0.05	2284.55	10.29	222.05	0.73
200	47804.12	439.92	146.64	3583.49	0.07	2199.58	6.39	344.15	0.88
208	59744.58	373.40	186.70	4705.63	0.08	1867.02	16.05	116.30	0.63
216	44354.44	0.00	1137.29	4117.60	0.09	1705.94	11.29	151.09	0.52
224	78208.86	0.00	499.74	4634.66	0.06	1749.08	25.98	67.33	0.67
232	52668.30	318.24	795.59	2609.28	0.05	1432.07	47.42	30.20	0.7
240	24800.56	670.29	148.95	1603.19	0.06	1638.48	31.87	51.41	1.02
248	41864.60	465.74	258.74	4145.53	0.10	1345.46	23.20	58.01	0.6
256	48449.45	647.43	215.81	1831.65	0.04	1834.39	42.96	42.70	0.83
264	34540.25	526.53	526.53	2395.58	0.07	1368.97	72.62	18.85	0.55
272	35150.03	212.39	106.19	2828.52	0.08	1061.93	55.70	19.07	0.59
280	30018.54	228.71	285.89	1600.27	0.05	800.49	20.54	38.98	0.82
288	35732.50	415.49	207.75	1825.05	0.05	519.37	32.50	15.98	0.54
296	46055.81	273.60	182.40	3973.18	0.09	1276.79	22.03	57.97	0.51
304	43752.61	172.59	345.19	3876.95	0.09	1725.94	21.73	79.41	0.91
312	44647.65	469.98	234.99	2965.59	0.07	1821.15	16.27	111.97	0.85
320	51537.27	356.41	356.41	2684.94	0.05	1496.93	15.32	97.68	0.89
328	48774.67	492.67	492.67	2576.17	0.05	1675.09	20.96	79.92	1.19
336	34947.35	435.03	435.03	3817.21	0.11	1812.62	21.65	83.71	0.43
344	48942.49	490.83	490.83	2840.46	0.06	1682.84	15.70	107.21	0.67
352	45153.99	223.53	894.14	3090.56	0.07	1564.74	11.35	137.87	0.85
360	37413.74	877.74	329.15	4104.35	0.11	3730.40	9.64	387.15	0.88

C.1. : Concentrations du pollen et des spores, des dinokystes, des réseaux organiques, des foraminifères benthiques ainsi que le rapport hétérotrophes/autotrophes dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Grains de pollen et de spores g ⁻¹	Spores de sphaignes g ⁻¹	<i>Halodinium</i> g ⁻¹	Dinokystes g ⁻¹	Dinokystes : pollen	Réseaux organiques g ⁻¹	Tests de foraminifères benthiques g ⁻¹	Réseaux organiques : foraminifères	Hétérotrophe : phototrophe
368	36918.81	202.85	709.98	3894.20	0.11	3651.31	9.98	365.77	1.34
376	56840.33	417.94	975.20	3330.28	0.06	3482.86	11.47	303.64	0.56
384	67889.78	1740.76	474.75	9407.28	0.14	3956.28	6.18	639.91	0.57
392	56045.33	577.79	433.34	4695.64	0.08	2022.25	10.88	185.83	0.54
400	86301.43	410.96	753.43	5886.07	0.07	3835.62	5.88	652.04	0.54
408	130335.69	398.58	1594.32	5496.21	0.04	9167.34	8.69	1055.33	0.65
416	127327.74	1116.91	1116.91	4419.02	0.03	5584.55	16.31	342.44	0.85
424	68025.54	428.37	1113.77	6994.23	0.10	3084.28	30.93	99.73	0.63
432	52496.92	638.26	957.39	4587.16	0.09	3989.13	31.17	127.98	1.22
440	51669.29	214.99	214.99	2931.08	0.06	2006.57	35.64	56.29	0.5
448	49592.05	333.39	750.13	4200.21	0.08	2833.83	28.42	99.72	0.67
456	30395.10	278.85	92.95	2324.11	0.08	1301.32	56.37	23.08	0.62
464	69451.86	170.50	284.17	2759.73	0.04	1477.70	18.79	78.64	0.6
472	41859.17	311.72	400.78	3255.64	0.08	1736.71	21.55	80.61	0.55
480	35675.40	232.16	154.77	2431.67	0.07	361.14	15.16	23.82	1.05
488	38618.71	105.40	168.64	1641.53	0.04	864.28	14.26	60.63	1.07
496	37673.24	162.56	284.48	1737.47	0.05	1178.56	22.26	52.94	1.07
504	53472.54	544.25	204.09	2458.43	0.05	1292.59	17.94	72.06	1.22
512	50634.46	264.90	189.22	2065.69	0.04	756.87	34.19	22.14	0.78
520	34332.70	254.90	509.79	2909.68	0.08	960.77	13.47	71.32	1.52
528	52318.04	473.70	473.70	3856.95	0.07	1263.21	13.92	90.76	0.64
536	75892.63	325.72	760.01	3018.93	0.04	651.44	21.54	30.25	0.47
544	51018.38	362.09	506.92	2984.18	0.06	1701.82	17.77	95.77	2.15

C.1. : Concentrations du pollen et des spores, des dinokystes, des réseaux organiques, des foraminifères benthiques ainsi que le rapport hétérotrophes/autotrophes dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Grains de pollen et de spores g ⁻¹	Spores de sphaignes g ⁻¹	<i>Halodinium</i> g ⁻¹	Dinokystes g ⁻¹	Dinokystes : pollen	Réseaux organiques g ⁻¹	Tests de foraminifères benthiques g ⁻¹	Réseaux organiques : foraminifères	Hétérotrophe : phototrophe
552	70019.21	423.08	282.05	2786.21	0.04	1339.74	14.45	92.72	1.17
560	45366.07	337.12	48.16	2942.47	0.06	481.59	4.32	111.54	0.88
568	67152.38	401.51	100.38	4186.21	0.06	2710.19	6.21	436.30	0.93
576	30359.45	170.56	170.56	2407.86	0.08	852.79	9.25	92.15	1.3
584	44856.15	120.26	60.13	3055.27	0.07	1202.58	4.49	267.96	0.86
592	57411.22	276.02	276.02	3219.04	0.06	736.04	4.42	166.48	1.14
600	50538.31	371.61	185.80	3114.93	0.06	510.96	2.70	189.27	1.24
608	43708.77	264.90	397.35	4430.24	0.10	1390.73	3.44	403.98	1.11
616	29924.27	124.17	62.08	3283.34	0.11	1117.50	2.24	499.24	1.21
624	28372.48	177.55	71.02	2030.27	0.07	284.08	1.34	211.77	3.19
632	28808.49	62.02	310.10	3138.49	0.11	775.26	4.33	179.23	1.63
640	18418.69	202.85	81.14	2117.11	0.11	283.99	1.09	260.16	1.71
648	15930.60	156.57	78.28	1646.54	0.10	156.57	3.84	40.75	1.33
656	15948.37	144.55	96.36	2916.03	0.18	481.82	1.21	399.63	1.21
664	22032.58	207.20	138.14	4046.13	0.18	828.81	0.84	991.09	1.45
672	12631.37	110.80	110.80	1664.21	0.13	221.60	2.13	104.01	1.66
680	19660.06	186.06	0.00	1212.15	0.06	0.00	0.99	0.00	0.42
688	13270.52	94.34	31.45	1761.93	0.13	188.68	1.62	116.26	1.56
696	14879.54	167.19	71.65	1711.99	0.12	238.84	1.90	125.82	1.44
704	11469.00	62.67	0.00	1108.66	0.10	250.69	1.23	203.65	1.75
712	5.73	103.44	51.72	1414.88	0.18	344.79	1.55	222.02	3.64
720	12.57	83.73	0.00	684.66	0.07	307.02	1.93	158.71	2.37

C.2. : Valeur de reconstruction de la température en été, la salinité en été, la durée du couvert de glace ainsi que la productivité dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Température en été (°C)	Limite inférieure	Limite supérieure	Salinité en été	Limite inférieure	Limite supérieure	Durée du couvert de glace (mois an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure	Productivité primaire annuelle MODIS (gCm ⁻² an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure
0	12.6	12.06	13.53	29.41	28.57	30.51	2.99	2.82	3.08	325.6	253	376.48
8	12.33	12.06	12.46	29.36	28.57	30.51	3.07	3	3.15	341.74	253	376.48
16	12.33	12.06	12.46	29.36	28.57	30.51	3.06	3	3.15	340.91	253	376.48
24	12.29	12.06	12.46	29.62	28.57	30.51	3.13	3	3.49	313.43	251.93	376.48
32	10.46	8.62	12.06	27.89	27.14	28.61	3.35	3.03	3.51	466.17	376.48	526.83
40	10.9	8.62	14.45	28.21	27.14	30.2	3.25	2.49	3.51	445.6	263.24	526.83
48	11.82	10.42	12.46	28.84	27.53	30.51	3.14	3	3.46	384.79	253	526.83
56	9.59	8.16	11.19	27.54	27.02	28.61	3.44	3.38	3.51	506.63	435.46	556.03
64	12.42	11.19	13.53	29.4	28.61	30.51	3.07	2.82	3.38	341.55	253	435.46
72	10.26	7.56	13.53	27.94	26.47	29.46	3.25	2.82	3.51	456.11	310.64	556.03
80	9.99	8.62	11.19	27.54	27.13	28.61	3.44	3.38	3.51	502.35	435.46	526.83
88	12.9	11.19	14.45	29.67	28.61	30.51	2.95	2.49	3.38	317.36	253	435.46
96	12.37	11.19	13.53	29.31	28.57	30.51	3.06	2.82	3.38	340.68	253	435.46
104	11.8	9.97	13.53	28.94	27.16	30.51	3.18	2.82	3.46	380.99	253	526.83
112	12.66	12.16	13.53	29.89	29.01	30.51	3.09	2.82	3.49	292.96	251.93	368.15
120	12.66	12.06	13.53	29.44	28.57	30.51	2.98	2.82	3.08	323.29	253	376.48
128	11.13	8.62	12.46	29.18	27.14	30.51	3.36	3.08	3.51	366.71	251.93	526.83
136	12.41	11.19	13.53	29.73	28.61	30.51	3.17	2.82	3.49	312.85	251.93	435.46
144	12.64	12.16	13.53	29.88	29.01	30.51	3.09	2.82	3.49	294.15	251.93	368.15
152	12.35	11.19	13.53	29.8	28.61	30.51	3.18	2.82	3.49	309.09	251.93	435.46
160	11.91	9.97	14.34	29.06	27.16	30.43	3.22	2.54	3.49	380.23	251.93	526.83
168	9.45	3.31	12.16	30.14	28.57	32.61	4.13	3.03	6.3	289.39	113.65	435.46
176	10.84	8.62	13.53	28.09	27.14	29.46	3.29	2.82	3.51	449.69	310.64	526.83
184	12.64	12.16	13.53	29.87	29.01	30.51	3.1	2.82	3.49	294.84	251.93	368.15
192	12.29	12.06	12.46	29.64	28.57	30.51	3.14	3	3.49	311.74	251.93	376.48
200	12.29	12.06	12.46	29.67	28.57	30.51	3.14	3	3.49	309.49	251.93	376.48

C.2. : Valeur de reconstruction de la température en été, la salinité en été, la durée du couvert de glace ainsi que la productivité dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Température en été (°C)	Limite inférieure	Limite supérieure	Salinité en été	Limite inférieure	Limite supérieure	Durée du couvert de glace (mois an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure	Productivité primaire annuelle MODIS (gCm ⁻² an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure
208	9.95	3.31	12.43	30.15	28.57	32.61	3.96	3	6.3	277.7	113.65	376.48
216	12.81	12.06	14.34	29.5	28.57	30.51	2.91	2.54	3.08	329.08	253	376.48
224	11.75	10.42	12.43	28.82	27.53	30.43	3.24	3	3.49	385.78	251.93	526.83
232	12.29	12.06	12.46	29.63	28.57	30.51	3.13	3	3.49	312.58	251.93	376.48
240	9.88	3.97	12.46	29.57	27.53	32.01	2.55	0.4	3.46	334.43	157.3	526.83
248	12.3	12.06	12.46	29.7	28.57	30.51	3.14	3	3.49	307.54	251.93	376.48
256	12.29	12.06	12.46	29.64	28.57	30.51	3.13	3	3.49	311.78	251.93	376.48
264	12.32	12.06	12.46	29.38	28.57	30.51	3.04	3	3.08	334.15	253	376.48
272	12.32	12.06	12.46	29.4	28.57	30.51	3.04	3	3.08	333.27	253	376.48
280	12.73	12.06	14.34	29.93	28.57	30.51	3.05	2.54	3.49	294.89	251.93	376.48
288	12.28	12.06	12.46	29.6	28.57	30.51	3.13	3	3.49	314.23	251.93	376.48
296	12.84	12.16	14.34	29.98	29.01	30.51	3.03	2.54	3.49	296.79	251.93	368.15
304	12.82	12.16	14.34	30.01	29.01	30.51	3.05	2.54	3.49	294.49	251.93	368.15
312	12.29	12.06	12.46	29.65	28.57	30.51	3.13	3	3.49	311.12	251.93	376.48
320	12.29	12.06	12.46	29.65	28.57	30.51	3.14	3	3.49	311.31	251.93	376.48
328	9.48	3.31	12.46	29.82	27.53	32.61	3.99	3.03	6.3	315.94	113.65	526.83
336	12.3	12.06	12.46	29.26	28.57	30.51	3.03	3	3.08	343.08	253	376.48
344	10.77	8.62	13.53	28.08	27.14	29.46	3.31	2.82	3.51	452.85	310.64	526.83
352	10.46	8.62	12.06	27.88	27.14	28.61	3.35	3.03	3.51	467.05	376.48	526.83
360	11.33	9.97	12.16	28.66	27.16	30.43	3.34	3.03	3.49	400.29	251.93	526.83
368	10.37	8.62	12.06	27.82	27.14	28.61	3.36	3.03	3.51	472.39	376.48	526.83
376	12.34	12.06	12.46	29.83	28.57	31.53	3.06	3	3.15	344.96	253	376.48
384	12.63	12.06	13.53	29.39	28.57	30.51	2.98	2.82	3.08	326.58	253	376.48
392	11.43	9.97	12.43	28.35	27.16	29.01	3.22	3	3.46	425.65	368.15	526.83
400	12.29	11.19	13.53	28.9	28.57	29.46	3.06	2.82	3.38	373.35	310.64	435.46
408	10.48	8.62	12.06	27.86	27.14	28.61	3.35	3.03	3.51	467.89	376.48	526.83

C.2. : Valeur de reconstruction de la température en été, la salinité en été, la durée du couvert de glace ainsi que la productivité dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Température en été (°C)	Limite inférieure	Limite supérieure	Salinité en été	Limite inférieure	Limite supérieure	Durée du couvert de glace (mois an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure	Productivité primaire annuelle MODIS (gCm ⁻² an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure
416	10.42	8.62	12.06	27.85	27.14	28.61	3.36	3.03	3.51	469.68	376.48	526.83
424	12.32	12.06	12.46	29.52	28.57	31.53	3.08	3	3.15	374.3	368.15	376.48
432	10.02	8.62	11.19	27.54	27.14	28.61	3.46	3.38	3.51	505.03	435.46	526.83
440	12.76	12.06	14.34	29.11	28.57	29.94	2.9	2.54	3.03	357.64	316.86	376.48
448	10.47	8.62	12.06	27.87	27.14	28.61	3.35	3.03	3.51	466.72	376.48	526.83
456	12.33	11.19	13.53	29.28	28.57	30.51	3.07	2.82	3.38	343.78	253	435.46
464	11.66	9.97	12.43	28.41	27.16	29.01	3.13	3	3.46	410.58	368.15	526.83
472	11.65	9.97	13.53	28.43	27.16	29.46	3.18	2.82	3.46	414.53	310.64	526.83
480	10.88	8.62	14.45	28.18	27.14	30.2	3.25	2.49	3.51	447.58	263.24	526.83
488	11.36	9.97	12.43	28.29	27.16	29.01	3.22	3	3.46	430.4	368.15	526.83
496	10.43	8.62	12.06	27.84	27.14	28.61	3.35	3.03	3.51	469.45	376.48	526.83
504	10.37	8.62	12.06	27.81	27.14	28.61	3.36	3.03	3.51	472.14	376.48	526.83
512	12.34	12.06	12.46	29.83	28.57	31.53	3.06	3	3.15	344.27	253	376.48
520	10.22	7.56	12.23	27.77	26.47	28.94	3.33	3.03	3.56	472.69	368.15	556.03
528	11.29	9.97	12.23	28.27	27.16	28.94	3.24	3.03	3.46	431.95	368.15	526.83
536	11.84	10.42	12.43	28.58	27.53	29.28	3.14	3	3.46	407.92	368.15	526.83
544	9.75	8.16	12.26	26.41	22.32	28.85	3.24	2.9	3.46	503.49	376.15	556.03
552	12.29	12.06	12.46	29.49	28.57	31.53	3.05	3	3.15	372.17	368.15	376.48
560	12.4	12.23	12.67	29.61	28.85	31.53	3.03	2.77	3.18	357.41	310.64	376.15
568	10.9	8.2	14.45	28.23	27.11	30.2	3.23	2.49	3.54	441.28	263.24	526.83
576	9.45	8.16	11.19	26.31	22.32	28.61	3.3	2.9	3.46	520.76	435.46	556.03
584	10.4	8.62	12.06	27.82	27.14	28.61	3.36	3.03	3.51	471.59	376.48	526.83
592	11.29	9.97	12.23	28.26	27.16	28.94	3.24	3.03	3.46	432.11	368.15	526.83
600	9.46	8.16	11.19	26.29	22.32	28.61	3.29	2.9	3.46	520.42	435.46	556.03
608	9.92	8.16	12.26	27.88	27.02	28.85	3.38	3.18	3.54	474.94	376.15	556.03
616	9.03	7.56	12.26	27.35	26.47	28.85	3.35	3.18	3.54	504.61	376.15	556.03

C.2. : Valeur de reconstruction de la température en été, la salinité en été, la durée du couvert de glace ainsi que la productivité dans la carotte COR0602-42PC

Profondeur (cm)	Température en été (°C)	Limite inférieure	Limite supérieure	Salinité en été	Limite inférieure	Limite supérieure	Durée du couvert de glace (mois an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure	Productivité primaire annuelle MODIS (gCm ⁻² an ⁻¹)	Limite inférieure	Limite supérieure
624	9.36	8.61	10.18	27.18	27.13	27.27	3.44	3.41	3.51	526.83	526.83	526.83
632	9.97	8.62	11.19	27.5	27.13	28.61	3.44	3.38	3.51	504.88	435.46	526.83
640	9.24	8.16	10.18	27.11	27.02	27.16	3.45	3.41	3.51	534.02	526.83	556.03
648	9.21	8.16	10.18	27.11	27.02	27.16	3.45	3.41	3.51	533.74	526.83	556.03
656	9.45	8.16	11.19	27.46	27.02	28.61	3.44	3.38	3.51	512.89	435.46	556.03
664	9.42	8.16	11.19	27.45	27.02	28.61	3.44	3.38	3.51	514.21	435.46	556.03
672	9.48	8.16	11.19	27.48	27.02	28.61	3.44	3.38	3.51	511.7	435.46	556.03
680	9.43	7.45	11.19	29.17	27.14	34.09	2.68	0.14	3.51	434.4	238.13	526.83
688	9.52	8.16	11.19	27.45	27.02	28.61	3.44	3.38	3.51	512.78	435.46	556.03
696	9.48	8.16	11.19	27.45	27.02	28.61	3.44	3.38	3.51	513.15	435.46	556.03
704	9.95	8.62	11.19	27.46	27.13	28.61	3.44	3.38	3.51	507.4	435.46	526.83
712	8.77	8.16	10.18	25.27	22.32	27.13	3.22	2.9	3.41	548.97	526.83	556.03
720	9.45	8.16	11.19	27.44	27.02	28.61	3.44	3.38	3.51	514.25	435.46	556.03

RÉFÉRENCES

- Arseneault, D. and Payette, S. (1997). Reconstruction of millennial forest dynamics from tree remains in a subarctic tree line peatland. *Ecology*, 78(6), 1873-1883.
- Asnong, H. et Richard, P.J. (2003). La végétation et le climat postglaciaires du centre et de l'est de la Gaspésie, au Québec. *Géographie physique et Quaternaire*, 57(1), 37-63.
- Barber, K.E., Chambers, F.M. and Maddy, D. (2003). Holocene palaeoclimates from peat stratigraphy: macrofossil proxy climate records from three oceanic raised bogs in England and Ireland. *Quaternary Science Reviews*, 22(5), 521-539.
- Barber, K.E. and Langdon, P.G. (2007). What drives the peat-based palaeoclimate record? A critical test using multi-proxy climate records from northern Britain. *Quaternary Science Reviews*, 26(25), 3318-3327.
- Barletta, F., St-Onge, G., Stoner, J., Lajeunesse, P., and Locat, J. (2010) A high-resolution Holocene paleomagnetic secular variation and relative paleointensity stack from eastern Canada. *Earth and Planetary Science Letters* 298: 162-174.
- Bennett, K. and Fuller, J. (2002) Determining the age of the mid-Holocene *Tsuga canadensis* (hemlock) decline, eastern North America. *The Holocene* 12: 421-429.
- Bilodeau, G., de Vernal, A. and Hillaire-Marcel, C. (1994). Benthic foraminiferal assemblages in Labrador Sea sediments: relations with deep-water mass changes since deglaciation. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31(1), 128-138.
- Bourgault, D. and Koutitonsky, V.G. (1999). Real-time monitoring of the freshwater discharge at the head of the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean*, 37(2), 203-220.
- Boyle, E.A. (1987). The past 20,000 years linked to high-latitude surface temperature. *Nature*, 330, 5.

- Charman, D.J., Hendon, D. and Packman, S. (1999). Multiproxy surface wetness records from replicate cores on an ombrotrophic mire: implications for Holocene palaeoclimate records. *Journal of Quaternary Science*, 14(5), 451-463.
- Charman, D. J. and Hendon, D. (2000). Long-Term Changes in Soil Water Tables over the past 4500 Years: Relationships with Climate and North Atlantic Atmospheric Circulation and Sea Surface Temperature. *Climatic Change*, vol. 47, no 1-2, p. 45-59.
- de Vernal, A., Eynaud, F., Henry, M., Hillaire-Marcel, C., Londeix, L., Mangin, S., Matthiessen, J., Marret, F., Radi, T., Rochon, A., Solignac, S. and Turon, J.L. (2005). Reconstruction of sea-surface conditions at middle to high latitudes of the Northern Hemisphere during the Last Glacial Maximum (LGM) based on dinoflagellate cyst assemblages. *Quaternary Science Reviews*, 24(7-9), 897-924. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.06.014>
- de Vernal, A., Goyette, C. et Rodrigues, C.G. (1989). Contribution palynostratigraphique (dinokystes, pollen et spores) à la connaissance de la mer de Champlain: coupe de Saint-Césaire, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 26(12), 2450-2464.
- de Vernal, A., Guiot, J. and Turon, J.-L. (1993). Late and postglacial paleoenvironments of the Gulf of St. Lawrence: Marine and terrestrial palynological evidence. *Géographie physique et Quaternaire*, 47(2), 167-180.
- de Vernal, A., Turon, J.-L. and Guiot, J. (1994). Dinoflagellate cyst distribution in high-latitude marine environments and quantitative reconstruction of sea-surface salinity, temperature, and seasonality. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 31(1), 48-62. <http://dx.doi.org/doi:10.1139/e94-006>
- de Vernal, A., Henry, M. et Bilodeau, G. (1996) Techniques de préparation et d'analyse en micropaléontologie. *Les cahiers du GEOTOP* 3: 16-27.
- de Vernal, A., Rochon, A., Turon, J.-L. and Matthiessen, J. (1997). Organic-walled dinoflagellate cysts: Palynological tracers of sea-surface conditions in middle to high latitude marine environments. *Geobios*, 30(7), 905-920. [http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0016-6995\(97\)80215-X](http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/S0016-6995(97)80215-X)
- de Vernal, A., St-Onge, G. and Gilbert, D. (2011). *Oceanography and Quaternary geology of the St. Lawrence Estuary and the Saguenay Fjord*. IOP Conference

Series: Earth and Environmental Science, Actes du colloque, 2011 : IOP Publishing.

- de Vernal, A. and Marret, F. (2007). Organic-walled dinoflagellate cysts: tracers of sea-surface conditions. *Developments in Marine Geology*, 1, 371-408.
- de Vernal, A., Rochon, A., Fréchette, B., Henry, M., Radi, T. and Solignac, S. (2013). Reconstructing past sea ice cover of the Northern Hemisphere from dinocyst assemblages: status of the approach. *Quaternary Science Reviews*, 79(0), 122-134.
<http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.06.022>
- Dhahri, N. (2010). Mémoire avec titre anglais??Natural variability of pelagic and benthic conditions in the Gulf of St. Lawrence during the late Holocene. Mémoire de maîtrise, département des Sciences de la Terre et de l'Atmosphère, Université du Québec à Montréal.
- Dickie, L.M. and Trites, W. (1983). The Gulf of St. Lawrence. Dans Ketchum, H. (Ed.), *Estuaries and Enclosed Seas*. Vol. 26, p. 403-425.
- Dyke, AS. and Prest, VK. (1987) Late Wisconsinan and Holocene history of the Laurentide ice sheet. *Géographie physique et Quaternaire* 41: 237-263.
- Engstrom, D. and Hansen, B. (1985) Postglacial vegetational change and soil development in southeastern Labrador as inferred from pollen and chemical stratigraphy. *Canadian Journal of Botany* 63: 543-561.
- Faucher, M., Caya, D., Saucier, F.J. and Laprise, R. (2004). Sensitivity of the CRCM atmospheric and the Gulf of St. Lawrence Ocean-Ice models to each other. *Atmosphere-Ocean*, 42(2), 85-100.
- Filion, L., Saint-Laurent, D., Despons, M. and Payette, S. (1991). The late Holocene record of aeolian and fire activity in northern Québec, Canada. *The Holocene*, 1(3), 201-208.
- Fontanier, C., Jorissen, F., Licari, L., Alexandre, A., Anschutz, P. and Carbonel, P. (2002) Live benthic foraminiferal faunas from the Bay of Biscay: faunal density, composition, and microhabitats. *Deep-Sea Research* 1: 751-785.
- Genovesi, L., de Vernal, A., Thibodeau, B., Hillaire-Marcel, C., Mucci, A. and Gilbert, D. (2011). Recent changes in bottom water oxygenation and

- temperature in the Gulf of St. Lawrence: Micropaleontological and geochemical evidence. *Limnology and Oceanography*, 56(4), 1319-1329.
- Gilbert, D. and Pettigrew, B. (1997). Interannual variability (1948-1994) of the CIL core temperature in the Gulf of St. Lawrence. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 54(S1), 57-67.
- Gilbert, D., Sundby, B., Gobeil, C., Mucci, A. and Tremblay, G.-H. (2005). A seventy-two-year record of diminishing deep-water oxygen in the St. Lawrence estuary: The northwest Atlantic connection. *Limnology and Oceanography*, 50(5), 1654-1666.
- Guiot, J. and de Vernal, A. (2007). Transfer functions: methods for quantitative paleoceanography based on microfossils. *Developments in marine geology*, 1, 523-563.
- Guiot, J., Brewer, S. and Gally, Y. (2013) Bioindic: statistic analyses for environmental bioindicators. 4.0.2 ed. Available from <http://www.geotop.ca/fr/congres-et-ateliers/358-atelier-sur-les-reconstitutions-quantitatives.html>: R package.
- Hélie, J. (2009). *Elemental and stable isotopic approaches for studying the organic and inorganic carbon components in natural samples*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Actes du colloque, 2009 : IOP Publishing.
- Hughes, P., Blundell, A., Charman, D., Bartlett, S., Daniell, J., Wojatschke, A. and Chambers, F. (2006). An 8500 cal. year multi-proxy climate record from a bog in eastern Newfoundland: contributions of meltwater discharge and solar forcing. *Quaternary Science Reviews*, 25(11), 1208-1227.
- Jorissen, F.J., Wittling, I., Peypouquet, J.P., Rabouille, C. and Relexans, J.C. (1998). Live benthic foraminiferal faunas off Cape Blanc, NW-Africa: Community structure and microhabitats. *Deep Sea Research Part I: Oceanographic Research Papers*, 45(12), 2157-2188.
- Kaiho, K. (1994) Benthic foraminiferal dissolved-oxygen index and dissolved-oxygen levels in the modern ocean. *Geology* 22: 719-722.
- King, G.A. (1986) *Deglaciation and Vegetation History of Western Labrador and Adjacent Quebec*: University of Minnesota.

- Koutitonsky, V. and Bugden, G. (1991). The physical oceanography of the Gulf of St. Lawrence: a review with emphasis on the synoptic variability of the motion. *The Gulf of St. Lawrence: small ocean or big estuary*, 113, 57-90.
- Lavoie, M. and Filion, L. (2001). Holocene vegetation dynamics of Anticosti Island, Quebec, and consequences of remoteness on ecological succession. *Quaternary Research*, 56(1), 112-127.
- Lefort, S., Gratton, Y., Mucci, A., Dadou, I. and Gilbert, D. (2012) Hypoxia in the Lower St. Lawrence Estuary: How physics controls spatial patterns. *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012) 117.
- Levac, E. (2003). Palynological records from Bay of Islands, Newfoundland: Direct correlation of Holocene paleoceanographic and climatic changes. *Palynology*, 27(1), 135-154.
- Levac, E. and de Vernal, A. (1997). Postglacial changes of terrestrial and marine environments along the Labrador coast: palynological evidence from cores 91-045-005 and 91-045-006, Cartwright Saddle. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 34(10), 1358-1365. <http://dx.doi.org/doi:10.1139/e17-108>
- Magnan, G. and Garneau, M. (2014a). A comparison of long-term peatland carbon dynamics between two maritime ecoclimatic regions along the St. Lawrence North Shore, eastern Canada. *The Holocene au complet*
- Magnan, G. and Garneau, M. (2014b) Evaluating long-term regional climate variability in the maritime region of the St. Lawrence North Shore (eastern Canada) using a multi-site comparison of peat-based paleohydrological records. *Journal of Quaternary Science- au complet*
- Marcoux, N. et Richard, P.J. (1995). Végétation et fluctuations climatiques postglaciaires sur la côte septentrionale gaspésienne, Québec. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 32(1), 79-96.
- McAndrews, J.H., Berti, A.A. and Norris, G. (1973). *Key to the Quaternary pollen and spores of the Great Lakes region*. : Royal Ontario Museum Ontario.
- Meyers, P.A. (1997). Organic geochemical proxies of paleoceanographic, paleolimnologic, and paleoclimatic processes. *Organic geochemistry*, 27(5-6), 213-250.

- Milliman, J.D. and Meade, R.H. (1983). World-Wide Delivery of River Sediment to the Oceans. *The Journal of Geology*, 91(1), 1-21. <http://dx.doi.org/10.2307/30060512>
- Moore, P.D., Webb, J.A. and Collison, M.E. (1991). *Pollen analysis*. : Blackwell scientific publications. Oxford, UK.
- Mott, R. (1976). A Holocene pollen profile from the Sept-Iles area, Québec. *Naturaliste canadien*, 103(5), 457-467.
- Mudie, P. (1982) Pollen distribution in recent marine sediments, eastern Canada. *Canadian Journal of Earth Sciences* 19: 729-747.
- Muzuka, A.N. and Hillaire-Marcel, C. (1999). Burial rates of organic matter along the eastern Canadian margin and stable isotope constraints on its origin and diagenetic evolution. *Marine Geology*, 160(3), 251-270.
- O'Neill, L.W., Chelton, D.B. and Esbensen, S.K. (2012). Covariability of surface wind and stress responses to sea surface temperature fronts. *Journal of Climate*, 25(17), 5916-5942. <http://dx.doi.org/10.1175/JCLI-D-11-00230.1>
- Payette, S. and Filion, L. (1985). White spruce expansion at the tree line and recent climatic change. *Canadian Journal of Forest Research*, 15(1), 241-251.
- Potvin, É., Rochon, A. and Lovejoy, C. (2013). Cyst-theca relationship of the arctic dinoflagellate cyst *Islandinium minutum* (Dinophyceae) and phylogenetic position based on SSU rDNA and LSU rDNA. *Journal of Phycology*. 49, 848–866. <http://dx.doi.org/10.1111/jpy.12089>.
- Radi, T., Bonnet, S., Cormier, M.-A., de Vernal, A., Durantou, L., Faubert, É., Head, M.J., Henry, M., Pospelova, V. and Rochon, A. (2012). Operational taxonomy and (paleo-) autecology of round, brown, spiny dinoflagellate cysts from the Quaternary of high northern latitudes. *Marine Micropaleontology*. 98, 41-57.
- Radi, T. and de Vernal, A. (2008). Dinocysts as proxy of primary productivity in mid-high latitudes of the Northern Hemisphere. *Marine Micropaleontology*, 68(1), 84-114.
- Richard, P. (1970). Atlas pollinique des arbres et de quelques arbustes indigènes du Québec. *Naturaliste canadien*, 97, 1-34.

- Rochon, A. (2009). *The ecology and biological affinity of Arctic dinoflagellates and their paleoceanographical significance in the Canadian High Arctic*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Actes du colloque, 2009 : IOP Publishing.
- Rochon, A. and de Vernal, A. (1994) Palynomorph distribution in recent sediments from the Labrador Sea. *Canadian Journal of Earth Sciences* 31: 115-127.
- Rochon, A., Vernal, A., Turon, J.-L., Matthiessen, J. and Head, M. (1999). Distribution of recent dinoflagellate cysts in surface sediments from the North Atlantic Ocean and adjacent seas in relation to sea-surface parameters. *American Association of Stratigraphic Palynologists Contribution Series*, 35, 1-146.
- Rodrigues, C.G., Ceman, J.A. and Vilks, G. (1993). Late Quaternary paleoceanography of deep and intermediate water masses off Gaspé Peninsula, Gulf of St. Lawrence: foraminiferal evidence. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 30(7), 1390-1403.
- Rondeau, B., Cossa, D., Gagnon, P. and Bilodeau, L. (2000). Budget and sources of suspended sediment transported in the St. Lawrence River, Canada. *Hydrological Processes*, 14(1), 21-36.
- Saucier, F.J. and Chassé, J. (2000). Tidal circulation and buoyancy effects in the St. Lawrence Estuary. *Atmosphere-Ocean*, 38(4), 505-556.
<http://dx.doi.org/10.1080/07055900.2000.9649658>
- Sen Gupta, B.K. and Machain-Castillo, M.L. (1993) Benthic foraminifera in oxygen-poor habitats. *Marine Micropaleontology* 20: 183-201.
- Schmidt, G., Bigg, G. and Rohling, E. (1999) Global Seawater Oxygen-18 Database-v1. 21. *Goddard Institute for Space Studies*, < <http://www.giss.nasa.gov/data/o18data> > [consulté le 10-07-04].
- Shackleton, N. (1974) Attainment of isotopic equilibrium between ocean water and the benthonic foraminifera genus *Uvigerina*: Isotopic changes in the ocean during the last glacial. incomplet?
- Smith, S.D. (1980). Wind stress and heat flux over the ocean in Gale force winds. *Journal of Physical Oceanography*, 10(5), 709-726.
[http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485\(1980\)010<0709:WSAHFO>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0485(1980)010<0709:WSAHFO>2.0.CO;2)

- Stockmarr, J. (1971) Tablets with spores used in absolute pollen analysis. *Pollen et Spores* 16: 616-621.
- Thibodeau, B., de Vernal, A. and Limoges, A. (2013). Low oxygen events in the Laurentian Channel during the Holocene. *Marine Geology*, 346(0), 183-191. <http://dx.doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.margeo.2013.08.004>
- Wu, X., Simmonds, I. and Budd, W.F. (1997). Modeling of Antarctic Sea Ice in a General Circulation Model. *Journal of Climate*, 10(4), 593-609. [http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442\(1997\)010<0593:MOASII>2.0.CO;2](http://dx.doi.org/10.1175/1520-0442(1997)010<0593:MOASII>2.0.CO;2)